

**Untersuchungen zur Effektivität und Prognose von  
Restaurationen im Seitenzahnbereich mit neuen und  
modifizierten zahnfarbenen Materialien**  
(- eine mikromorphologische Studie -)

**Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades**

doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

von Christina Heinze  
geboren am 11. Januar 1983 in Rudolstadt

und

von Karin Seidler  
geboren am 18. Februar 1978 in Ilmenau

#### Gutachter

1. Prof. Dr. I. Hoyer
2. PD Dr. Dr. B. Sigusch
3. Prof. Dr. Th. Hoffmann

Tag der öffentlichen Verteidigung: .....

# Gliederung

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ziel der Arbeit</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>13</b>
4.1	Zahnproben .....	13
4.2	Füllungsmaterialien .....	14
4.3	Kavitätenpräparation und Füllungsanlage .....	16
4.4	Thermocycling (TC) .....	18
4.5	Abrasion .....	19
4.6	Replikatherstellung .....	20
4.7	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung (REM) .....	21
4.8	Experimentelle Kariesauslösung .....	23
4.9	Schnitttherstellung .....	24
4.10	Polarisationsmikroskopische Untersuchung (POLMI) .....	25
4.11	Statistik .....	26
4.12	Chronologie des Versuchsablaufes (graphische Darstellung) .....	28
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>29</b>
5.1	Handling der Materialien .....	29
5.2	Rasterelektronenmikroskopie - Ergebnisse .....	30
	- Füllungsimperfectionen - vor und nach Alterung	
5.2.1	Tetric® EvoCeram .....	30
5.2.2	Grandio® .....	33
5.2.3	QuixFil® .....	36
5.2.4	Dyract® eXtra .....	39
5.3	Rasterelektronenmikroskopie - Ergebnisse .....	42
	- Füllungsimperfectionen - nach Alterung	
5.3.1	Tetric® EvoCeram .....	42
5.3.2	Grandio® .....	47
5.3.3	QuixFil® .....	52
5.3.4	Dyract® eXtra .....	57
5.3.5	Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse .....	62

5.4	Polarisationsmikroskopie - Ergebnisse.....	66
	- Füllungsimperfektionen - nach Alterung	
5.4.1	Tetric® EvoCeram.....	66
5.4.2	Grandio®.....	69
5.4.3	QuixFil®.....	72
5.4.4	Dyract® eXtra.....	75
5.5	Polarisationsmikroskopie - Ergebnisse.....	79
	- Kariöse Läsionen - Korrelation mit Füllungsimperfektionen	
5.5.1	Tetric® EvoCeram.....	79
5.5.2	Grandio®.....	81
5.5.3	QuixFil®.....	83
5.5.4	Dyract® eXtra.....	85
5.5.5	Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse .....	87
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>89</b>
6.1	Diskussion der Methode .....	89
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	93
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>
	<b>Anhang Statistik</b>	<b>120</b>



## 1 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, das Oberflächen- und Randverhalten von drei aktuellen unterschiedlich formulierten, schrumpfungsreduzierten Kompositen und einem Kompomer der dritten Generation zu untersuchen. Speziell die marginale Integrität der Materialien in den okklusalen und approximalen Grenzflächenbereichen sollten mikromorphologisch kontrolliert und mögliche Korrelationen zwischen Randimperfectionen und experimenteller Kariesauslösung aufgezeigt werden. Es wurden je 25 MOD-Füllungen an Molaren mit dem Mikro-Hybrid-Komposit Tetric® EvoCeram (Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein), dem Nano-Hybrid-Komposit Grandio® (VOCO, Cuxhaven/Deutschland), dem Hybrid-Komposit QuixFil® (Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) und dem Kompomer Dyract® eXtra (Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) appliziert. Eine approximale Stufe war jeweils schmelz- bzw. dentinbegrenzt. An diesen 100 Zahnproben erfolgten ein Thermocycling und ein mechanischer Abrasionstest. Die in Folge erstellten Epon-Replikate aller Proben wurden rasterelektronenmikroskopisch (REM) ausgewertet. Die Auswertung erfolgte nach den M- (microscopical) Kriterien des CPM-Index. Im okklusalen Füllungsbereich wurde die freie Oberfläche mit zwei Kriterien und die Grenzflächen Füllung/Zahn-hartsubstanz mit sechs Kriterien bewertet. An den approximalen Stufen im Schmelz bzw. Dentin erfolgte die Bewertung ebenso mit sechs Kriterien. Nach den REM-Untersuchungen wurden alle Proben in Vorbereitung der experimentellen Kariesauslösung axial halbiert, um die approximalen Stufen im Schmelz bzw. im Dentin zeitlich different einem kariösen Milieu (0,1 mol/l Natriumacetatpuffer pH 4,9; 3% HEC) auszusetzen. Für die polarisationsmikroskopische (POLMI) Auswertung von Randimperfectionen und möglichen korrelierenden kariösen Läsionen wurden pro Probe 4 – 6 Dünnschnitte (80 – 100 µm) erstellt. Insgesamt wurden bis 250 Schnitte pro Material ausgewertet. Die Erfassung kariöser Wandläsionen (im Mikropalt zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial) war Hauptanliegen der POLMI-Untersuchungen. Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows Version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois/USA). Es wurden der Chi<sup>2</sup>-Test nach Pearson und der McNemar-Test angewandt.

Die mikromorphologischen Untersuchungen (REM) zum Oberflächenverhalten der einzelnen Materialien zeigten nach Thermocycling und Abrasion keine glatten Füllungsoberflächen, Inhomogenitäten und reguläre/irreguläre Substrukturen prägten anteilig das Bild aller Materialien. Tetric® EvoCeram zeigte dabei das signifikant schlechteste Ergebnis. An den okklusalen Füllungsgrenzbereichen wurden bei allen Materialien negative Stufenbildung und Randspalten als häufigste Imperfektionen registriert. Bei den Randspalten ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Materialien, wobei QuixFil® das schlechteste Resultat zeigte. An den approximalen Stufen im Schmelz wurden Randspalten am häufigsten dokumentiert, mit statistisch signifikantem Unterschied zwischen den Materialien, wobei Grandio® dabei und bei dem globalen Kriterium Randschluss die besten Ergebnisse aufwies. An den approximalen Stufen im Dentin wurden bei allen Materialien Füllungsüberschüsse und Randspalten am häufigsten dokumentiert, ohne statistisch signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Materialien. Nur bezüglich der Randabbrüche zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede. Hier erbrachte Dyract® eXtra das schlechteste Resultat.

Die mikromorphologischen Untersuchungen (POLMI) zur Objektivierung experimenteller Kariesläsionen an registrierten Füllungsrandimperfektionen zeigten für alle Materialien an den approximalen Stufen im Schmelz, dass an Randspalten und Poren/oberflächlichen Materialdefiziten am häufigsten Wandläsionen ausgelöst wurden. Bei den Randspalten ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Materialien. Tetric® EvoCeram erbrachte hierbei die schlechtesten Resultate. An den approximalen Stufen im Dentin zeigte sich, dass an Füllungsüberschüssen, Randspalten und Poren/oberflächlichen Materialdefiziten am häufigsten Wandläsionen zu registrieren waren. Bei Randspalten, Poren/Materialdefiziten gab es signifikante Unterschiede. Dyract® eXtra lies dabei die besten Resultate erkennen. Trotz unterschiedlicher Formulierung und teils differentem Handling zeigten die mikromorphologischen Ergebnisse bezüglich der registrierten Imperfektionen, sowie den korrelierenden Wandläsionen vergleichbare Ergebnisse bei den vier Materialien mit lediglich lokalen Unterschieden. Bei der ausgereiften Materialtechnologie der aktuellen Werkstoffe scheinen die Qualität einer Kompositrestauration und deren Langzeitprognose nicht in erster Linie von der Materialauswahl, sondern von der Sorgfalt und dem Können des Zahnarztes abhängig zu sein.

## 2 Einleitung

Die Etappen der Entwicklung der Komposite von 1962 bis in die 90er Jahre zu festen, farbstabilen, polierbaren Füllungsmaterialien, die adhäsiv an der Zahnhartsubstanz befestigt werden, sind als Meilenstein der konservierenden Therapie zu sehen (Staehle 2009).

Die Weiterentwicklung der Komposite betraf in erster Linie die anorganischen Füllerstoffe, die organische Matrix (Dimethacrylate) blieb vorerst weitgehend unverändert. Die anfänglich auf dem Markt vorhandenen Makro-Füller-Komposite (Füllergröße:  $< 10 \mu\text{m}$ ) scheiterten an der mangelnden Ästhetik. Es folgten die homogenen Mikro-Füller-Komposite (Füllergröße:  $< 0,15 \mu\text{m}$ ) und die inhomogenen Mikro-Füller-Komposite (Agglomerate/Vorpolymerisate). Diese erfüllten zwar die Forderung nach Polierbarkeit, ließen aber die erforderlichen physikalischen Werte vermissen. Die Reduzierung der Füllergröße allein führte also nicht zu dem erhofften klinischen Erfolg.

Erst die Entwicklung der Hybrid-Komposite (Makrofüller/Mikrofüller) brachten akzeptable klinische Resultate und führten auch zur Indikationserweiterung bei den Kompositen (Roulet 1987).

Die weiteren Entwicklungen konzentrierten sich zunächst größtenteils auf die weitere Reduzierung der Füllergröße bei gleichbleibender Füllerchemie ( $\text{SiO}_2$ , Ba-Strontium, Silikatglas), so dass heute Feinpartikel-Hybrid-Komposite (Füllergröße:  $< 5 \mu\text{m}$ ), Feinstpartikel-Hybrid-Komposite (Füllergröße:  $< 3 \mu\text{m}$ ) und Submikrometer-Hybrid-Komposite (Füllergröße:  $< 1 \mu\text{m}$ ) zur Verfügung stehen (Ernst und Willershausen 2003).

Weiterhin wurde über die Erhöhung des Füllstoffanteils und damit der Verringerung der organischen, polymerisierbaren Matrix (Dimethacrylate) versucht, den Polymerisationsschrumpf zu senken und dadurch die Grenzflächen Füllung-Zahnhartsubstanz sicherer zu machen. Dies führte unter anderem zur Entwicklung der sogenannten „stopfbaren“ Komposite für den Seitenzahnbereich. Der hohe Gehalt an Füllstoffen konnte zwar die Abrasion verringern, führte aber häufig zum Verlust der Eigenelastizität der Materialien (Leinefelder et al. 1999).

Dies dürfte der Hauptgrund für die nicht im erwarteten Maße nachgewiesene Senkung der Polymerisationsschrumpfung sein. Außerdem erschwert eine zu hohe Standfestigkeit des Materials meist die notwendige, exakte Adaptation/Modellierung der Restauration.

Im Gegenzug wurden auch sogenannte „fließfähige“ Komposite entwickelt. Ihr geringer Füllstoffanteil erhöhte erwartungsgemäß den Polymerisationsschrumpf. Ihre Anwendung beschränkt sich in erster Linie auf minimal-invasive Therapiemaßnahmen und Fissurenversiegelungen. Fließfähige Komposite werden aber auch bei ausgedehnten Seitenzahnrestorationen, teilweise im schwer zugänglichen approximal- zervikalen Bereich (Stufe!) als sogenannte „Stressbreaker“ angewandt. Sie sind leicht zu applizieren und sorgen somit für eine gute Benetzbarkeit und eine bessere Adaptation des eigentlichen Komposites. Fließfähige Komposite haben ein niedriges E-Modul und sind somit teilweise in der Lage, den Polymerisationsschrumpfungsstress und funktionelle Belastungen besser zu kompensieren (Kobler et al. 2009).

Mitte der 90iger Jahre des vorherigen Jahrhunderts wurde erstmals versucht, auch die klassische organische Matrix (Dimethacrylat-Basis) zu verändern. So wurden die sogenannten Ormocere (Or-ganically mo-dified ce-ramic) entwickelt, die eine neue Materialgruppe innerhalb der Komposite darstellen, die das Fraunhofer-Institut für Silikatforschung, Würzburg, in Zusammenarbeit mit Partnern in der Dentalindustrie entwickelt hat (Manhart et al. 1999). Bei dieser Materialgruppe enthält die Matrix neben konventionellen Methacrylaten methacrylierte Siloxane, die an der radikalischen Reaktion der konventionellen Methacrylate teilhaben (Janda 2007).

1998 wurde mit Definite® (Degussa, Hanau/Deutschland) das erste Ormocer-Material auf den Markt gebracht. Es folgte mit Admira® (Voco, Cuxhaven/Deutschland) ein weiteres Produkt dieser Kompositklasse. Prinzipiell konnte auch mit den Ormoceren die erhoffte Reduktion der Polymerisationsschrumpfung in einem klinisch relevanten Umfang nicht realisiert werden (Ernst und Willershausen 2003).

Neue Wege, physikalische Eigenschaften von Materialien deutlich zu beeinflussen, bietet die Nanotechnologie. Durch den gezielten Aufbau von

Struktureinheiten in kleinsten Dimensionen lassen sich Materialien mit besonderen technischen Eigenschaften generieren.

Bei den reinen Nanofüller- bzw. Nanopartikel-Kompositen handelt es sich real um eine neue Komposit-„Bauart“. Man könnte sie am ehesten mit den früher nicht - realisierbaren homogenen Mikrofüller-Kompositen vergleichen. Jedoch ist der bei den reinen Nanofüller-Kompositen eingesetzte Füllstoff eine echte Innovation. Diese Kompositklasse enthält neben den schon bisher verwendeten  $\text{SiO}_2$ -Nanopartikeln auch agglomerierte Nanopartikel, die aus ungefüllten  $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ -Nanopartikeln (0,1 – 100 nm) bestehen (Janda 2007, Puckett et al. 2007). Da die Nanopartikel grundsätzlich über andere physikalische Eigenschaften als konventionelle Füller verfügen, kann bei den Nanofüller-Kompositen ein Füllergehalt ähnlich dem der Hybrid-Komposite erreicht werden. Dadurch weisen die Materialien eine hohe Abriebfestigkeit und gute Polierfähigkeit auf (Ernst und Willershausen 2003, Danebrock 2004). Zusätzlich soll eine niedrigere Schrumpfrate ohne den Nachteil der erhöhten Viskosität resultieren (Puckett et al. 2007). Mit Filtek® Supreme (3M Espe, Seefeld/Deutschland) wurde Ende 2002 das erste reine Nanofüller-Komposit eingeführt. Das innovative Füllkörperkonzept besteht aus zwei unterschiedlichen Füllerarten, den individuellen Nano-Partikeln mit einer Größe zwischen 20 und 75 nm und sogenannten Nano-Clustern.

Neben den reinen Nanofüller-Kompositen wurden in den letzten Jahren sogenannte Nano-Hybrid-Komposite entwickelt. Mit Grandio® (VOCO, Cuxhaven/Deutschland) kam 2003 das erste Füllungsmaterial dieser Klasse auf den Markt. Weitere Produkte, wie z. B. Venus® Diamond (Heraeus, Hanau/Deutschland), folgten. Gemeinsam ist diesen interessanten Materialien, dass sie eine „variable Füllertechnologie“ aufweisen. Diese kombiniert unterschiedliche Füllerarten und Füllergrößen: nicht agglomerierte Nanopartikel, klassische Makrofüller (gemahlener Quarz, Glas, Keramik), Mikrofüller (pyrogenes  $\text{SiO}_2$ ) und häufig sogenannte „Präpolymere“ (Vorpolymerisatsplitter). Bisherige Untersuchungen zeigen, dass diese Nano-Hybrid-Komposite bezüglich E-Modul, Biegefestigkeit und Polymerisationsschrumpf bewährten Hybrid-Kompositen vergleichbar sind. Im Hinblick auf Abrasionsfestigkeit scheinen sie den reinen Nanofüller-Kompositen nahe zu kommen.

Nach wie vor ist zentrales Ziel bei der Weiterentwicklung zahnärztlicher Kompositmaterialien die Reduktion der polymerisationsbedingten Schrumpfung. Neuere Entwicklungen sollen nicht nur die Polymerisationsschrumpfung, sondern auch die Polymerisationsschrumpfkraft reduzieren. Ein seit kurzer Zeit vielversprechender Ansatz diesbezüglich sind ringförmige Monomere (Silorane), die unter Ringöffnung polymerisieren. Über diese innovative Siloranchemie hat 3M Espe, Seefeld/Deutschland das Mikrohybrid-Komposit Filtek® Silorane entwickelt, das bezüglich Polymerisationsschrumpfung und Polymerisationsschrumpfkraft den konventionellen Kompositen überlegen scheint (Schattenberg et al. 2007). Letztendlich können jedoch erst mittelfristig klinisch kontrollierte Studien Aufschluss über die Effektivität dieser völlig neuen Materialklasse geben.

Neben den Komposit-Materialien wurden in den 90er Jahren die sogenannten Kompomere entwickelt. Kompomere sind Komposite, welche durch Glasionomerzement-Komponenten modifiziert wurden. Kompomere kamen 1993/1994 erstmals auf den europäischen Markt.

Bei den Kompomeren wurden die traditionellen Kompositmonomere durch Carboxylatgruppen modifiziert. Im Gegensatz zu den Kompositen enthalten sie reaktive Füllersubstanzen und ionenfreisetzende Glaspartikel (Hickel 1997, Stiesch und Hannig 1999). Kompomere zeigen neben der radikalischen Polymerisation nach der Aushärtung noch eine gewisse Säure-Basen-Reaktion durch den Glasionomeranteil (Benz und Hickel 2005).

Kompomere haben seit ihrer Markteinführung ein wechselhaftes Schicksal erlebt. Die Kompomere der ersten Generation (Dyract®, Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) sollten sich durch Haftung an der nicht geätzten Zahnhartsubstanz, einer erhöhten Fluoridfreisetzung und einer der Polymerisationsschrumpfung entgegenwirkenden Quellung bei Wasseraufnahme auszeichnen. Sie fanden relativ rasch eine große Verbreitung. Nachdem sich die erhofften positiven Eigenschaften jedoch in klinischen Studienergebnissen nicht generell nachweisen ließen, gab es keine Erweiterung der klinischen Anwendung. Das Indikationsspektrum war auf die Versorgung von Milchzähnen, Zahnhalsdefekten und auf kleine, nicht okklusionstragende, okklusale Läsionen an Prämolaren und Molaren der bleibenden Dentition beschränkt (Denehey und Vargas 1996, Benz und Hickel 2005).

Ende der 90er Jahre brachte Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland mit Dyract® AP eine zweite Kompomergeneration auf den Markt, die kompositähnlichere Eigenschaften aufwies. Für Dyract® AP liegen Ergebnisse einer Fünf-Jahres-Studie bei Klasse-II-Kavitäten im permanenten Gebiss vor, die mit Ergebnissen von Amalgamfüllungen und Hybrid-Kompositen vergleichbar sind (Benz und Hickel 2005, 2008).

2003 kam mit Dyract® eXtra (Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) eine dritte Kompomergeneration auf den Markt. Für dieses Material konnte experimentell eine zusätzliche kariesprotektive Wirkung an Füllungsrandern nachgewiesen werden (Lennon et al. 2007). Kurz- und mittelfristige klinische Studien bei okklusionstragenden Seitenzahnrestorationen zeigen bisher gute Resultate (Ilie et al. 2003).

Speziell Kompomere sind zahnfarbene Füllungsmaterialien mit sehr weit gestreuten qualitativen Eigenschaften innerhalb der Materialgruppe, was die Produktwahl für den klinischen Einsatz erheblich einschränkt und eine exakte Differenzierung zwischen den angebotenen Materialien verlangt (Ernst und Willershausen 2003). Zu den Dyract®-Produkten sind die meisten Kompomer-Studien erschienen. Die mögliche kariesprotektive Wirkung von Dyract® eXtra wird zur Zeit in einer breit angelegten Multicenter-Studie klinisch überprüft.

Bei dem Einsatz von Kompositmaterialien bildet der stabile und dauerhafte adhäsive Verbund zu Schmelz und Dentin die Grundlage des klinischen Erfolges, da Komposite generell adhäsiv an den Zahnhartsubstanzen befestigt werden müssen (Haller und Blunck 2003).

Die Grundforderung der Schmelzhaftung (Buonocore 1955) konnte relativ leicht erfüllt werden. Mittels Säure-Ätz-Technik wird an den Schmelzrändern ein mikroretentives Ätzmuster erzeugt und die Oberflächenenergie erhöht. Die Schmelzätztechnik mit Mikroretention von Kompositen ist seit 40 Jahren in der Zahnerhaltung etabliert und eine biologisch und klinisch sichere Restaurations-technik (Haller und Blunck 2003, Gängler et al. 2004).

Die Haftung am Dentin, die durch Erweiterung der Indikation auf ausgedehntere Kavitäten notwendig wurde, war und ist ungleich schwieriger zu realisieren.

Im Gegensatz zum Schmelz ist das Dentin durch den Dentinliquor, die tubuläre Mikrostruktur, den hohen Kollagenanteil und nicht zuletzt durch den Smear Layer (Schmierschicht), ein wesentlich ungünstigerer Haftungspartner für Füllungs-materialien. Die Erzeugung eines stabilen Verbundes zwischen Komposit und Zahnhartsubstanz wird damit erheblich erschwert (Perdigao et al. 1998, Hellwig et al. 1999, Haller und Blunck 2003, Brenner 2004, Ernst et al. 2005, Frankenberger 2005).

Bei jeglicher Bearbeitung des Dentins entsteht ein 1 – 5 µm dicker sogenannter Smear Layer als Auflagerung auf dem Dentin, der aus Bakterien, Liquor, Hydroxylapatit- und Kollagentrümmern sowie zerstörten Odontoblastenfortsätzen besteht. Diese Schicht, die auch weitere Bestandteile wie Blut, Speichel und zahnärztliche Materialien enthalten kann, bewirkt eine 2 – 6 µm tiefe Verpropfung der angeschnittenen Dentintubuli (Pashley et al. 1995, Haller 2000). Dieser Smear Layer verhindert den direkten Kontakt von Füllungsmaterial und Dentin und spielt bei der Dentinkonditionierung eine zentrale Rolle (Frankenberger 2001, Lambrechts et al. 2001).

Die Dentinadhäsive wurden nach erster Markteinführung und während der raschen Weiterentwicklung in Generationen eingeteilt (1. – 7. Generation). Da diese Gruppierung aber nicht dazu geeignet war, die Adhäsive aufgrund objektiver Wirkprinzipien einzuteilen, wurde eine weitere Klassifikation vorgeschlagen. Die Dentin-Bondingsysteme unterscheiden sich größtenteils in ihren Strategien, den Smear Layer zu modifizieren bzw. zu entfernen.

Die Modifizierung der Smear Layer beinhaltet ein teilweises Auflösen durch Dentinhaftvermittler mit Hilfe von demineralisierenden Bestandteilen. Durch das Anlösen der Smear Layer kann das Monomer bis in die Dentinkanälchen penetrieren. Beim Trocknen kommt es zu einer partiellen Wiederausfällung der Smear Layer (van Meerbeeck et al. 1994).

Die Entfernung der Smear Layer erfolgt durch Ätzen des Dentins mit nachfolgendem Absprühen der aufgelösten Smear Layer. Es kommt zu einer vollständigen Auflösung und Entfernung mit Öffnung der Dentintubuli. Das Dentin wird oberflächlich demineralisiert und es kommt zur Freilegung von Kollagenfasern. Die Dentinadhäsive penetrieren in die Kollagenschicht und schaffen Mikroretentionen in den Dentinkanälchen. Aus dem ausgehärteten Bondingmaterial entstehen in den Dentintubuli Zapfen (tags). Das vom flüssigen



Haftvermittler infiltrierte Kollagengeflecht bildet eine Verbundschicht, die sogenannte Hybridschicht (van Meerbeeck et al. 1994). Durch das Entfernen der Smear Layer soll auch im Dentin eine mikromechanische Verankerung in den Dentinkanälchen erreicht werden.

Eine weitere Einteilung der Adhäsivsysteme unterscheidet zwischen der Total-Etch- und der Self-Etch-Technik. Produkte in Kombination mit der Total-Etch-Technik werden häufig in der klinischen Praxis eingesetzt (Frankenberger et al. 2005). Um der hohen Techniksensitivität der Total-Etch-Produkte (klassisches Dreistufensystem) entgegenzutreten, eine mögliche Schädigung der Pulpa-Dentin-Einheit durch Übersäuerung mit Phosphorsäure oder späteres Übertrocknen zu verhindern, wurden die Self-Etch-Adhäsive entwickelt. Der klinische Vorteil dieser Adhäsive liegt in der Vereinfachung des Handlings, da auf separate Phosphorsäureätzung verzichtet wird (Türkün 2003). Das Prinzip dieser selbstkonditionierenden Bondingsysteme beruht auf dem Einsatz von Schmelz und Dentin konditionierenden Primern, welche mittels saurer Monomere demineralisierend und gleichzeitig infiltrierend wirken (Molla et al. 2002). Ein selbstkonditionierendes Adhäsiv vereinigt alle Arbeitsschritte (Konditionierung, Priming, Bonding) in Einem (Ernst et al. 2005, Helbig et al. 2005, Janda 2007). Viele dieser selbstkonditionierenden Bondingsysteme wurden in den letzten Jahren auf den Markt gebracht und die Entwicklung schreitet weiter voran.

Trotz der rasanten Weiterentwicklung der Dentinbondingtechnik mit Mikroretentionen und Hybridschichtbildung sind immer noch nicht alle Probleme der Dentinhaftung geklärt (Nanoleakage, bakterielle Besiedlung des Kavitätenbodens!) (Blunck et al. 2007).

Schon seit Jahren befindet sich eine fast unüberschaubare Zahl von zahnfarbenen Füllungsmaterialien auf dem Markt. Dies erklärt sich aus der andauernden Suche nach Optimierung bezüglich Senkung der Polymerisationsschrumpfung, Verbesserung des Handlings (Klebrigkeit!) und Indikationserweiterung.

Vor Markteinführung werden alle Materialien in erster Linie werkstoffkundlich getestet. Diese präklinischen, werkstoffkundlichen Untersuchungen dienen vor allem der Analyse physikalischer, mechanischer und chemischer Parameter (Krejci et al. 1990). Zahnärztliche Restaurationsmaterialien sind jedoch Medizinprodukte, deren Prüfung und klinischer Einsatz in der Europäischen Union durch

das Medizinprodukte-Gesetz geregelt ist. Zur Minimierung der biologischen Risiken und Nebenwirkungen hat der Gesetzgeber strenge Auflagen zur Biokompatibilitätsprüfung und klinischen Langzeitsicherung festgelegt, die internationalen Standards unterliegen (ADA/ANSI - Chicago 1982; ISO 10993 -Geneva 1992–1997).

Neben Screeningtests zur unspezifischen und spezifischen Toxizität sind dies vor allem klinisch kontrollierte Studien mit standardisierten Verlaufskontrollen.

Ziel klinischer Studien ist es vor allem, die Funktionszeit von Füllungsmaterialien, also den Zeitraum von der Applikation bis zum Ende der klinischen Akzeptanz, zu untersuchen.

Die meisten klinischen Studien werden visuell und taktil durchgeführt. Neben dieser makroskopischen Beurteilung sind jedoch häufig mikromorphologische Untersuchungen notwendig, um ein frühes Deteriorationsrisiko durch Füllungsimperfectionen zu erkennen. Dies gelingt größtenteils mit In-vitro-Studien. Die Probleme liegen dabei grundsätzlich in der Nachstellung der komplexen Situation in der Mundhöhle, was auch mit Verfahren, wie dem Thermocycling und Kausimulation nicht vollständig erreicht werden kann. Trotzdem sind In-vitro-Studien sinnvoll und notwendig, da das Probenmaterial methodische Zugänge erlaubt, wie sie bei klinischen Studien nicht oder nur mit hohem personellem und zeitlichem Aufwand möglich sind.

Mikromorphologische Methoden, wie z. B. die Rasterelektronenmikroskopie (REM) haben sich zur Beurteilung des Oberflächen- und Randverhaltens von Füllungsmaterialien über Jahre bewährt. Die Rasterelektronenmikroskopie ermöglicht es, an speziell vorbehandelten Proben die Oberflächenbeschaffenheit, sowie das Grenzflächenverhalten detailliert zu untersuchen. Diese mikromorphologische Kontrolle wird häufig bei experimentellen Studien eingesetzt, ist aber durch Replikation auch begleitend bei klinischen Studien möglich.

Detaillierte Ergebnisse zur Qualität des Füllungsgrenzbereiches können auch mit dem vergleichsweise wesentlich aufwendigeren Verfahren der Polarisationsmikroskopie (POLMI) erreicht werden. Dabei werden Körper in optisch anisotrope und optisch isotrope, je nach ihrem Verhalten gegenüber Lichtbrechung, eingeteilt (Schmidt und Keil 1958). Die optisch anisotropen, doppelbrechenden Zahnhart-

substanzen besitzen eine negative Eigendoppelbrechung (beruhend auf der Kristallstruktur der Zahnhartsubstanzen) und eine positive Formdoppelbrechung (beruhend auf der Struktur der Poren im Schmelz und auf dem Kollagenanteil im Dentin). Nach Imbibition mit verschiedenen Medien stellen sich diese Poren und der Kollagenanteil polarisationsmikroskopisch unterschiedlich dar.

Auf Grundlage der Polarisationsmikroskopie können Randimperfektionen an Zahnfüllungsproben in ihrer Korrelation zu experimenteller Kariesauslösung bewertet werden.

Experimentelle Kariesmodelle lassen sich in chemische und mikrobiologische Systeme einteilen. Die erzeugten experimentellen kariösen Läsionen (caries like lesion) sind mit natürlichen Läsionen histopathologisch vergleichbar (Schiffner 1999, Kraft et al. 1999). Chemische Systeme verwenden hauptsächlich gesättigte Pufferlösungen (Mc Intyre et al. 2000) oder saure Gele (Kraft et al. 1993, Boyle et al. 1998, Carstens 2007) zur Auslösung kariesähnlicher Läsionen. Diese Kariesmodelle ermöglichen vor allem eine gute Kontrolle und Reproduzierbarkeit der experimentellen Bedingungen. Mikrobiologische Systeme beziehen orale Mikroorganismen in den Demineralisationsprozess ein und simulieren somit die natürliche Kariesentstehung in der Mundhöhle besser (Fontana et al. 1999), sind aber experimentell nicht optimal kontrollierbar.

### 3 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie ist es, das Oberflächen- und Randverhalten von drei aktuellen, schrumpfungsreduzierten, unterschiedlich formulierten Kompositen und einem Kompomer der dritten Generation in 3-flächigen Restaurationen an Molaren zu untersuchen. Speziell die marginale Integrität der Materialien in den okklusalen und approximalen Grenzflächenbereichen sollen mikromorphologisch kontrolliert und mögliche Korrelationen zwischen Randimperfectionen und experimenteller Kariesauslösung aufgezeigt werden. Für die Untersuchung wurden das Mikro-Hybrid-Komposit Tetric® EvoCeram, das Nano-Hybrid-Komposit Grandio®, das Hybrid-Komposit QuixFil® und das Kompomer Dyract® eXtra verwendet. Im Einzelnen sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie wirken sich thermische Wechselbelastung und mechanische Abrasion auf Oberflächengüte und marginale Adaptation der okklusalen Füllungsanteile bei den einzelnen Materialien aus? Welche Imperfektionen sind an den approximalen Stufen speziell an den Grenzflächen Schmelz-Füllungsmaterial bzw. Dentin-Füllungsmaterial bei den verschiedenen Materialien festzustellen?
- Gibt es nach Alterung Qualitätsunterschiede im Oberflächen- und Randverhalten zwischen den einzelnen Materialien?
- Wie wirken sich Füllungsrandimperfektionen an den unterschiedlichen Grenzflächenbereichen auf die experimentelle Kariesauslösung aus?
- Gibt es Unterschiede bezüglich dokumentierter Füllungsrandimperfektionen und korrelierender kariöser Läsionen bei den einzelnen Materialien?
- Wirken sich Unterschiede in der Formulierung und im Handling der einzelnen Füllungsmaterialien im Ergebnis aus?
- Welche Schlussfolgerungen lassen die experimentell gewonnenen Ergebnisse für die Klinik zu?

## 4 Material und Methode

### 4.1 Zahnproben

342 extrahierte menschliche dritte Molaren dienten als Ausgangsmaterial. Nach der Beseitigung von Desmodontresten und Reinigung mit fluoridfreier Polierpaste Clean Polish (Have Neos, Geutilino/Schweiz) wurden die Zähne vorerst in 0,1% Thymollösung aufbewahrt.

Die Auswahl der Zähne (300) für das Experiment erfolgte bei 20-facher Vergrößerung im Stereomikroskop (Stemi 2000 C, Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena/Deutschland). Von diesen 300 Zähnen wurden 100 defektfreie, kariesfreie Zähne speziell zur Füllungsanlage ausgewählt, die restlichen Proben dienten als Nachbarzähne.

Zur Annäherung an die klinische Situation bei der Präparation, Füllungsanlage und Nachbearbeitung wurden Silikonblöcke aus Panasil® (Kettenbach, Eschenburg/Deutschland) mit jeweils drei in Kontakt stehenden menschlichen Molaren angefertigt, wobei die zu füllende Probe zu beiden approximalen Flächen je einen Nachbarzahn besaß (Abb. 1).



**Abb. 1:** Zahnprobe im Silikonblock

## 4.2 Füllungsmaterialien

Für die Untersuchung wurden vier zahnfarbene plastische Füllungsmaterialien ausgewählt, die 2003/04 auf den Markt kamen.

### Tetric® EvoCeram

Das Mikro-Hybrid-Komposit Tetric® EvoCeram (Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein) ist das Nachfolgeprodukt des klinisch gut etablierten Hybrid-Komposites Tetric® Ceram (Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein).

Die Matrix besteht aus Dimethacrylaten (Bis-GMA = Bisphenolglycidylmethacrylat, UDMA = Urethan-Dimethacrylat, Bis-EMA = Bisphenol A Ethoxy Dimethylacrylat).

Bei Tetric® EvoCeram wurde die Füllertechnologie gegenüber Tetric® Ceram modifiziert. Tetric® EvoCeram enthält Makrofüller (gemahlenes Quarz, Glas oder Keramik z. B. Bariumglas, Ytterbiumtrifluorid), Mikrofüller (pyrogenes SiO<sub>2</sub>) sowie "komplexe Füller" (hybridgefüllte Vorpolymerisatsplitter). Der Gesamtgehalt an Füllern beträgt 83 Gew.-%. Die Füllergröße liegt von 0,4 µm bis 1 µm.

Das Universalkomposit Tetric® EvoCeram soll nach Herstellerangaben eine verbesserte Polierbarkeit und eine höhere Abrasionsfestigkeit gegenüber dem Vorgängerpräparat aufweisen. Außerdem sind die Polymerisationsschrumpfung (1,49 Vol.-%) und die Polymerisationsschrumpfkraft reduziert (Schattenberg et al. 2007, Hofmann 2008).

### Grandio®

Grandio® (VOCO, Cuxhaven/Deutschland) ist eines der ersten auf dem Markt gebrachte Nano-Hybrid-Komposite.

Die Matrix besteht aus traditionellen Dimethacrylaten (Bis-GMA = Bisphenolglycidylmethacrylat, TEGDMA = Triethylglycoldimethacrylat).

Der Unterschied von Grandio® gegenüber einem klassischen Hybrid-Komposit ist bei der Füllerkomponente zu sehen. Als Füllstoffe mit einem Anteil von 87 Gew.-%, sind sphärische Nanopartikel (Siliziumdioxid) enthalten. Die Partikelgröße der Mikrofüller liegt bei 1 µm und der Nanofüller zwischen 20 – 50 nm. Dadurch soll die Abrasionsresistenz und Elastizität erhöht, gleichzeitig die Polymerisationsschrumpfung (1,57 Vol.-%) verringert werden.

Grandio® kommt durch die optischen Eigenschaften disperser Nanopartikel mit wenigen Farben aus und soll so eine aufwendige Farbschichttechnik überflüssig machen. Das Universalkomposit Grandio® soll sich für ästhetisch perfekte Restaurationen in allen Kavitätenklassen bei Front- und Seitenzähnen eignen.

#### QuixFil®

QuixFil® (Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) ist ein Feinstpartikel-Hybrid-Komposit.

Die Matrix ist eine Mischung aus mehreren bekannten und bewährten Dimethacrylaten (UDMA = Urethan-Dimethacrylat, TEGDMA = Triethylglycoldimethacrylat, Bis-EMA = Bisphenol A Ethoxy Dimethylacrylat, TMPTMA = Trimethylolpropantrimethacrylat).

Der patentierte Füller ermöglicht einen Füllstoffanteil von 86 Gew.-%, mit einer Füllergröße von 0,8 µm – 10 µm.

QuixFil® wird als Komposit speziell für eine vereinfachte Anwendung im Seitenzahnbereich angeboten. Dieses, als kostengünstige Amalgamalternative auf den Markt gebrachte Hybrid-Komposit soll bei vereinfachter Applikation (Einbringen von weniger/größeren Inkrementen) eine ausreichende Aushärtungstiefe ermöglichen. Die Polymerisationsschrumpfung (1,7 Vol.-%) ist reduziert (Soltész 2004). Nur eine Universalfarbe ist erhältlich. QuixFil® wird vom Hersteller nur für Restaurationen im Seitenzahnbereich empfohlen.

#### Dyract® eXtra

Dyract® eXtra (Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) ist ein Kompomer der dritten Generation, das Nachfolgeprodukt von Dyract® AP.

Die Basis ist eine Dimethacrylatmatrix (TEGDMA = Triethylglycoldimethacrylat, UDMA = Urethan-Dimethacrylat, TMPTMA = Trimethylolpropantrimethacrylat).

Als Füllstoff ist das bewährte Strontiumfluorid-Glas, wie schon in Dyract® und Dyract® AP enthalten, mit einem Anteil von 75 Gew.-%. Die mittlere Füllergröße beträgt 0,8 µm. Das Material soll sich durch hohe Kohäsion, verringerte Hydrophobie und stärkere Fluoridfreisetzung auszeichnen. Die Polymerisationsschrumpfung beträgt 2,65 Vol.-%. Dyract® eXtra ist das einzige Kompomer, welches auch zur definitiven Versorgung permanenter Zähne im Seitenzahnbereich vom Hersteller empfohlen wird.

Die Verteilung der Zähne auf die einzelnen Materialien erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Mit jedem der vier Füllungsmaterialien wurden jeweils 25 3-flächige Füllungen gelegt (Tab. 1).

Tab. 1: Verteilung der Zähne

Füllungsmaterial	Füllungsanzahl
Tetric® EvoCeram	25
Grandio®	25
QuixFil®	25
Dyract® eXtra	25

### 4.3 Kavitätenpräparation und Füllungsanlage

An allen 100 Proben wurden MOD-Kavitäten präpariert. Unabhängig vom Material erfolgte die Präparation mit birnen- und zylinderförmigen Diamanten der Korngröße 100 µm unter reichlicher Wasserkühlung. Anschließend wurden die Kavitäten mit einem Diamantfinierer der Korngröße 30 µm bearbeitet. Der Kavitätenumriss erfolgte im Sinne einer Sekundärrestauration. (Abb. 2).



**Abb. 2:** Zahnprobe - präparierte Kavität

Die oro-vestibuläre Breite der okklusalen Kavität betrug mindestens ein Drittel, aber im Durchschnitt weniger als zwei Drittel der Zahnbreite. Die proximale Stufe wurde pro Probe einmal im Schmelz (1 – 1,5 mm koronal der Schmelz-Zement-Grenze) und einmal im Dentin (0,5 – 1,0 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze) präpariert.



Bei der Nachbearbeitung wurden die okklusalen Kavitätenränder nur leicht „gebrochen“. Die approximale Stufe im Schmelz wurde mit Hilfe von flammenförmigen Diamanten der Korngröße 15 µm im Winkel von 45° angeschrägt. Auf das Legen einer Unterfüllung wurde aus Gründen des weiteren Versuchsverlaufes verzichtet.

Als Matrizensystem wurden für alle Materialien Toffelmire-Matrizen mit Metallband verwendet, die zervikale Abdichtung erfolgte mittels Ahorn-Holzkeilen (Hawe Neos Dental, Bioggio/Schweiz).

Für die Tetric® EvoCeram-Füllungen wurde das Mehrkomponenten-Adhäsivsystem Syntac® classic (Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein), bestehend aus Syntac®-Primer, Syntac®-Adhäsiv und Heliobond® verwendet.

Die Kavität wurde 15 – 30 s mit 37 % Phosphorsäure (VOCO, Cuxhaven/Deutschland) konditioniert. Danach wurde die Kavität mit einem kräftigen Wasserstrahl für 30 s abgesprüht. Nach Trocknung erfolgte die Applikation des Primers für 30 s, welcher mit Luft verblasen wurde. Im Anschluss daran wurde Syntac®-Adhäsiv ebenfalls auf Schmelz und Dentin aufgebracht und wirkte 15 s ein, um dann getrocknet zu werden. Der Haftvermittler Heliobond® wurde auf Dentin und Schmelz aufgetragen. Die Überschüsse wurden mit Luft verblasen und dann das verbleibende Material mit Licht (Spectrum™800, Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) polymerisiert.

Für die Grandio®-Füllungen wurde das Einkomponenten-Adhäsivsystem Solobond® M (VOCO, Cuxhaven/Deutschland) verwendet. Es erfolgte die simultane Konditionierung von Schmelz und Dentin mit 37 % Phosphorsäure (VOCO, Cuxhaven/Deutschland), welche danach mit einem Luft-Wasser-Gemisch abgesprüht wurde. Nach Trocknung erfolgte die Applikation von Solobond® M auf allen präparierten Schmelz- und Dentinflächen. Nach der Einwirkzeit von 30 s wurde Solobond® M mit einem Luftstrom verblasen und mit Halogenlicht (Spectrum™800, Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland) 20 s polymerisiert.

Bei den Füllungsmaterialien QuixFil® und Dyract® eXtra diente als Haftvermittler das selbstätzende Einkomponenten-Adhäsiv Xeno®III (Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland).

Gleiche Mengen der Flüssigkeiten A und B wurden vermischt. Danach wurde eine ausreichende Menge Xeno®III aufgetragen, so dass alle Kavitätenflächen gründlich benetzt waren. Nach einer Einwirkzeit von 20 s wurde das Adhäsiv

durch einen Luftstrom verblasen und anschließend für 20 s lichtgehärtet (Spectrum™800, Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland).

Nach Anwendung der materialspezifischen Haftvermittler erfolgte die Applikation der vier Materialien. Alle Materialien wurden inkremental in die Kavität, beginnend im approximalen Kasten, eingebracht. Bei QuixFil® erfolgte die Applikation in größeren Inkrementen. Jede Schicht wurde nach Applikation jeweils 20 s lichtpolymerisiert (Spectrum™800, Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland).

Das okklusale Relief wurde bereits mittels Kunststoffmodellierinstrumenten (Opra® Sculpt, Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein) konturiert. Nach Entfernung der Toffelmire-Matrize erfolgte eine 40 s Nachhärtung, dabei wurde der Approximalraum besonders bedacht.

Die okklusale Nachbearbeitung erfolgte bei allen Materialien mit kugel- und flammenförmigen Finierdiamanten (Korngröße 15 µm). Zur Politur der okklusalen Flächen, sowie im Approximalraum, soweit möglich, wurden Polierscheiben (Super Snap® Rainbow Technique KIT, Schofu Dental GmbH, Ratingen/Deutschland) mit absteigender Körnung verwendet. Zusätzlich wurden approximal Finierstreifen (Super Snap® Polystrips, Schofu Dental GmbH, Ratingen/Deutschland) benutzt.

#### **4.4 Thermocycling (TC)**

In der Chronologie des Experimentes wurden die 100 Proben zuerst für vier Wochen in destilliertem Wasser gelagert. Während dieser Zeit erfolgte zur künstlichen Alterung der Proben ein Thermocycling (bio-med THERMOCYCLER 60 B. Braun, Biotech International GmbH, Melsungen/Deutschland; Abb. 3). Die Proben wurden in Gazebeuteln in einem Wasserbad platziert, wodurch eine ständige und allseitige Umspülung des Probengutes durch das Medium gewährleistet war. Die Temperaturen waren auf 20°C und 65°C festgelegt und die Proben somit einer Temperaturdifferenz von 45 K ausgesetzt. Die Verweildauer betrug bei beiden Temperaturen jeweils 20 Sekunden bei einer Gesamtzyklusdauer von 3,5 Minuten. Jede Probe durchlief 1200 Zyklen.



**Abb. 3:** bio-med THERMOCYCLER 60, B. Braun, Melsungen/Deutschland

## 4.5 Abrasion

Im Anschluss an die Thermowechselbelastung wurden alle Proben einer Abrasion unterzogen. Dazu wurde ein Zahnbürstautomat (Sonderanfertigung: Zentrum für ZMK der FSU Jena, Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde; Abb. 4) verwendet.

Je vier Zahnproben wurden in Reihe stehend mit approximalem Kontakt mittels selbsthärtenden Kunststoffs (Kallocryl SPEIKO, Dr. Speier GmbH, Münster/Deutschland) in einer Spezialkuvette befestigt. Von diesen wurden sechs nebeneinander gelagert.

Das für den Versuch notwendige Abrasionsmedium, welches die Zähne während des Versuchszyklus vollständig umspülte, war ein 1:1 Gemisch aus künstlichem Speichel und Aluminiumhydroxid. Der künstliche Speichel hatte folgende Zusammensetzung: 10 g Natrium-Carboxymethylcellulose, 30 g Sorbitol, 1,2 g Kaliumchlorid und 0,85 g Natriumchlorid sowie Wasser ad 1000 g. Der pH-Wert des Speichels betrug 6,8.

Über jeder Kuvette wurde jeweils eine Zahnbürste (normaler Kopf, mittlere Härte) auf einem Schlitten befestigt und mit einem Gewicht von 100 g belastet. Der Schlitten bewegte sich in horizontaler Richtung, somit konnten die okklusalen Flächen, sowie die oberen approximalen Anteile der Zähne und Füllungsflächen

mit Bürstenbewegungen erreicht werden. Der Versuchszyklus umfasste 24000 Bürstenstriche (Abb. 4).



**Abb. 4:** Zahnbürstautomat, Sonderanfertigung: Zentrum für ZMK der FSU Jena, Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde

## 4.6 Replikatherstellung

In Vorbereitung der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung wurden bereits direkt nach Füllungsanlage bei jeweils acht der 25 Proben pro Füllungsmaterial (nur okklusale Füllungsflächen) Replikate gewonnen. Bei allen 100 Proben erfolgte die Replikation nach künstlicher Alterung.

Dabei wurden separate Korrekturabformungen der drei Füllungsanteile (1-okklusal, 2-approximal) vorgenommen. Als Material wurde additionsvernetzendes Silikon (Panasil®, Kettenbach, Eschenburg/Deutschland) verwendet.

Die Abformungen wurden mit Epoxidharz Glycidether 100 (Serva, Heidelberg, Deutschland) ausgegossen. Nach der Abbindephase konnten die Replikate entnommen und auf speziellen Probeträgern für die Auswertung im Rasterelektronenmikroskop fixiert werden. Insgesamt lagen 332 Replikate (132 okklusale, 100 approximale Schmelz, 100 approximale Dentin) für die mikromorphologische Kontrolle vor (Abb. 5).



**Abb. 5a:** Epon-Replikate



**Abb. 5b:** besputterte Probe

#### 4.7 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung (REM)

Für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung wurden alle Replikate im Hochvakuum (B 30, Dresden/Deutschland), mit einer 50 – 100 nm dicken Goldschicht bedampft.

Die mikromorphologische Auswertung erfolgte mit dem Rasterelektronenmikroskop Philips SEM 115 (Philips, Eindhoven/Holland) bei einer Kathodenspannung von 19,5 bis 20 kV.

Von allen Replikaten wurde eine Übersichtsaufnahme (Vergrößerung 10 x) angefertigt. Die Kontrolle der freien Oberfläche und der Grenzfläche Füllung-Zahnhartsubstanz erfolgte bei Vergrößerungen von 35 x bis 1000 x, mit digitaler Bilddokumentation.

Zur Bewertung der einzelnen Restaurationsmaterialien wurden nur die M-(microscopical) Kriterien des CPM-Index (Hoyer et al. 1993) verwendet. Die M-Kriterien des C(-clinical) P(-photographical) M(-microscopical)-Index beurteilen dabei die Oberfläche mit zwei Parametern (Oberflächenrauigkeit, Oberflächentextur) und die Grenzflächenbeziehungen mit insgesamt sechs Parametern, wobei das globale Kriterium Randschluss durch fünf weitere Kriterien (Füllungsüberschüsse, Randabbrüche, negative Stufenbildung, Mikrolücken, Randspalten und weitere Randimperfectionen) bei unterschiedlichen Codierungen spezialisiert wird (Prüfbogen S. 22). In unserer Studie wurden der okklusale Bereich (freie Oberfläche/Grenzflächenbeziehungen) und die approximalen Stufen im Schmelz bzw. im Dentin (Grenzflächenbeziehungen) beurteilt.

## **Prüfbogen CPM-Kriterien**

### **M (microscopical)- Kriterien**

#### **1. Oberflächenrauigkeit**

- 0 - die gesamte Oberfläche ist glatt
- 1 - lokale Rauigkeiten, mind. 2/3 der Oberfläche sind glatt
- 2 - 1/3 bis 2/3 der Oberfläche sind glatt
- 3 - weniger als 1/3 der Oberfläche sind glatt

#### **2. Oberflächentextur**

- 0 - die Oberfläche ist homogen und weist keine oder regelmäßig verteilte Substrukturen auf
- 1 - lokale Inhomogenitäten, mind. 2/3 der Oberfläche sind homogen und weisen keine oder regelmäßig verteilte Substrukturen auf
- 2 - 1/3 bis 2/3 der Oberfläche sind homogen und weisen keine oder regelmäßig verteilte Substrukturen auf
- 3 - weniger als 1/3 der Oberfläche sind homogen und weisen keine oder regelmäßig verteilte Substrukturen auf

#### **3. Randschluss**

- 0 - perfekter Rand
- 1 - lokale Randimperfectionen, mind. 2/3 des Füllungsrandes sind perfekt
- 2 - 1/3 bis 2/3 des Füllungsrandes sind perfekt
- 3 - weniger als 1/3 des Füllungsrandes ist perfekt

#### **4. Füllungsüberschüsse**

- 0 - keine Füllungsüberschüsse
- 1 - Füllungsüberschüsse bis 1/3 des Gesamtumfanges
- 2 - Füllungsüberschüsse 1/3 bis 2/3 des Gesamtumfanges
- 3 - Füllungsüberschüsse mehr als 2/3 des Gesamtumfanges

#### **5. Randabbrüche**

- 0 - keine Randabbrüche
- 1 - Randabbrüche bis 1/3 des Gesamtumfanges
- 2 - Randabbrüche 1/3 bis 2/3 des Gesamtumfanges
- 3 - Randabbrüche mehr als 2/3 des Gesamtumfanges

#### **6. negative Stufenbildung**

- 0 - keine negative Stufenbildung
- 1 - negative Stufenbildung bis 1/3 des Gesamtumfanges
- 2 - negative Stufenbildung 1/3 bis 2/3 des Gesamtumfanges
- 3 - negative Stufenbildung mehr als 2/3 des Gesamtumfanges

#### **7. Mikroleakage und Randspalten**

- 0 - keine Mikroleakage, keine Randspalten
- 1 - vereinzelt Mikroleakage im Grenzflächenbereich
- 2 - ausgeprägt Mikroleakage
- 3 - Randspalten

#### **8. Weitere Randimperfectionen**

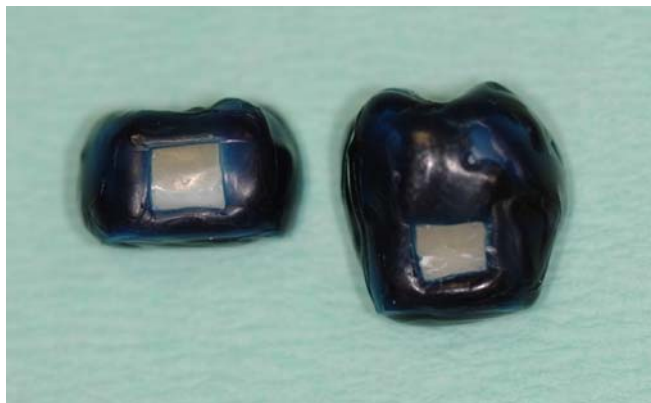
(Frakturen randnaher Füllungsanteile und Schmelzrandfrakturen)

- 0 - keine weiteren Randimperfectionen
- 1 - weitere Randimperfectionen bis 1/3 des Gesamtumfanges
- 2 - weitere Randimperfectionen 1/3 bis 2/3 des Gesamtumfanges
- 3 - weitere Randimperfectionen mehr als 2/3 des Gesamtumfanges

## 4.8 Experimentelle Kariesauslösung

Um die Randständigkeit (Sekundärkaries!) der einzelnen Materialien noch spezieller zu untersuchen, wurden die approximalen Füllungsanteile (Stufen im Schmelz bzw. Dentin) mit einer speziellen Demineralisationslösung behandelt, zur möglichen Auslösung einer experimentellen Karies. Dazu erfolgte die Teilung aller 100 Zahnproben in vertikaler Richtung mit einer diamantierten Trennscheibe.

Diese 200 Proben wurden gleichmäßig mit einer Wachsschicht aus blauen Lanzettwachs (hart) überzogen, wobei die approximalen Stufen und 1 mm der angrenzenden Zahnhartsubstanz freigehalten wurden. Die Wachsabdeckung erfolgte unter stereomikroskopischer Kontrolle (Abb. 6).



**Abb. 6:** Wachsabdeckung der Zahnproben

Die von Kraft et al. (1993) entwickelten und von Carstens (2007) modifizierten und für diese Aufgabenstellung optimierten Demineralisationsparameter, mit 3 % Hydroxyethylcellulose in 0,1 molaren Natriumacetat-Puffer mit einem pH-Wert von 4,9 bei 37°C, kamen in dieser Arbeit zur Anwendung.

Für 100ml dieser Pufferlösung wurden

	3,2 g	Hydroxyethylcellulose (HEC)
+	33,0 ml	Aqua bidest
+	15,0 ml	KCL (1 mol/l)
+	35,0 ml	Natriumacetat (0,2 mol/l)
+	15,0 ml	Essigsäure (0,2 mol/l)
+	1,0 ml	CaCl <sub>2</sub> (150 mmol/l)
+	1,0 ml	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (90 mmol/l)

gemischt und bis zur Homogenität verrührt.

Die Proben wurden an plastbeschichteten, flexiblen Drähten mit Wachs befestigt und in die Demineralisationslösung getaucht (Abb. 7). Die Kontaktierung der approximalen Schmelzproben mit der Lösung erfolgte über 14 Tage. Die approximalen Dentinproben wurden bereits nach sieben Tagen aus der Lösung entfernt, um zu starke Demineralisationsvorgänge zu vermeiden. Nach Abschluss der Demineralisation wurden die Proben gründlich mit Aqua bidest abgespült und mechanisch von Wachs gereinigt. Makroskopisch waren schon weißlich-opake Läsionen im Schmelz sichtbar.



**Abb. 7:** Zahnproben in der Demineralisationslösung

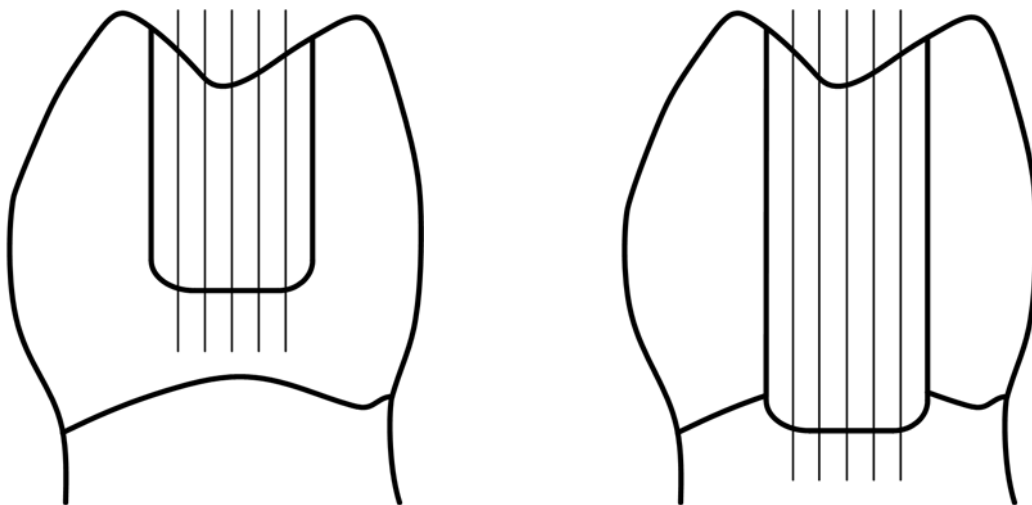
## 4.9 Schnittherstellung

Zur Herstellung planparalleler Dünnschnitte mit einer Stärke von 80 – 100 µm für die nachfolgende polarisationsmikroskopische Untersuchung wurde unter stereomikroskopischer Kontrolle die günstigste Position zum Schnittansatz ermittelt und gekennzeichnet. Es wurden 4 – 6 Schnitte pro approximalen Grenzbereich hergestellt, wobei alle Randimperfectionen erfasst werden sollten.

Die Proben wurden mit autopolymerisierendem Kunststoff (Kallocryl SPEIKO, Dr. Speier GmbH, Münster/Deutschland) auf zylindrischen Trägern fixiert und nach Aushärtung vollständig mit Autopolymerisat umschichtet. Die Schnittführung an den markierten Positionen erfolgte in okklusale-cervikale Richtung (Abb. 8) unter



ständiger Wasserkühlung mit dem Sägemikrotom LEICA 1600 (Leica Microsystems Vertrieb GmbH, Bensheim/Deutschland). Nach jedem Schnitvorgang wurde zur Stabilisierung die Schnittfläche erneut mit Autopolymerisat abgedeckt. Die Entfernung des Kunststoffes an den fertigen Sägeschnitten erfolgte mittels Chloroform und Ethanol. Die Schnitte wurden auf Objektträger aufgebracht, mit Deckgläschen abgedeckt und sofort mit Aqua bidest imbibiert, um insbesondere im Dentin eine irreversible Austrocknung zu vermeiden. Es ergaben sich 250 Schnitte pro Füllungsmaterial.



**Abb. 8:** schematische Darstellung der Schnittrichtung bei der Dünnschnittherstellung im Schmelz und Dentin

#### 4.10 Polarisationsmikroskopische Untersuchung (POLMI)

Die Auswertung der insgesamt 1000 Schnitte erfolgte mit dem Polarisationsmikroskop JENAPOL® b (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena/Deutschland) bei Vergrößerungen von 60 x bis 100 x. Als Imbibitionsmedium wurde für die Auswertung im Schmelz Ethanol (100 %) und für die Auswertung im Dentin Aqua bidest verwendet.

Die polarisationsmikroskopische Auswertung umfasste zunächst die Dokumentation von Füllungsrandimperfectionen (Füllungsüberschüsse, Schmelzrandfrakturen in unmittelbarer Nähe zur Füllung, Füllungsrandfrakturen, negative Stufen, Randspalten und Poren/oberflächliche Materialdefizite).

Jede Randimperfektion, die auf einem oder auch auf mehreren Schnitten zu erkennen war, wurde nur einmal für diesen Grenzflächenbereich registriert. Anschließend wurden die kariösen Läsionen beurteilt.

Es konnte zwischen Oberflächenläsionen (OL) und Wandläsionen (WL) unterschieden werden. Oberflächenläsionen entstehen durch die Säureattacke an der ungeschützten Zahnoberfläche während der Demineralisation. Aus diesen Gründen waren in der vorliegenden Studie bei allen Proben Oberflächenläsionen zu beobachten. Wandläsionen hingegen entstehen durch die Penetration der Säure in die Tiefe bei nicht optimalen Grenzflächenbeziehungen bzw. durch Randimperfectionen direkt an der Füllungsgrenze. Sie erstrecken sich entlang der Kavitätenwand oder entlang bzw. unter Füllungsrandimperfectionen und sind der klinischen Sekundärkaries vergleichbar.

Die Erfassung speziell dieser Wandläsionen war Hauptanliegen der polarisationsmikroskopischen Auswertung.

Die Bilddokumentation der Imperfectionen und Wandläsionen erfolgte mit der mikrofotographischen Einrichtung mf AKS 24 x 36 matic-mot 2 (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena/Deutschland).

#### **4.11 Statistik**

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows Version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois/USA).

Die Analysen wurden deskriptiv mit Kreuztabellen durchgeführt, wobei, wenn möglich, eine Angabe der absoluten Häufigkeit sowie der Reihenprozent erfolgte. Es wurden für die rasterelektronenmikroskopischen und polarisationsmikroskopischen Ergebnisse jeweils separate Analysen durchgeführt.

Die rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse der CPM-Kriterien (Oberflächenrauigkeit, Oberflächentextur, Randschluss, Füllungsüberschüsse, Randabbrüche, negative Stufenbildung, Mikrolücken/Randspalten und weitere Randimperfectionen) im okklusalen und (Randschluss, Füllungsüberschüsse, Randabbrüche, negative Stufenbildung, Mikrolücken/Randspalten und weitere Randimperfectionen) im approximalen Füllungsgrenzbereich wurden nach statistischen Tests in Ergebnistabellen dargestellt.

Unabhängig davon erfolgte die Darstellung der polarisationsmikroskopischen Ergebnisse der Füllungsrandimperfectionen und Wandläsionen der approximalen Füllungsanteile (Füllungsüberschüsse, Schmelzrandfrakturen Füllungsrand-

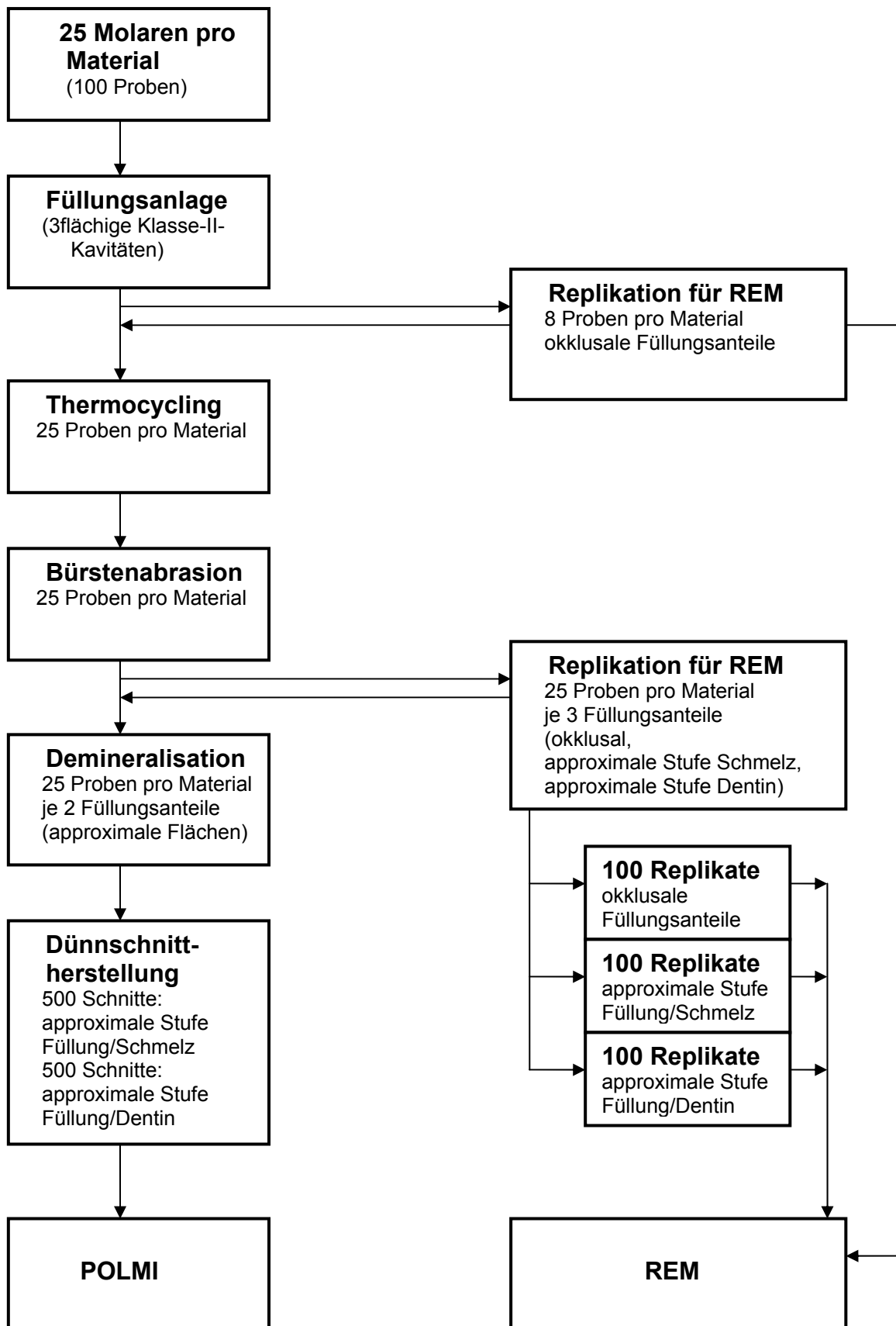
frakturen, negative Stufe, Randspalten und Poren/oberflächliche Materialdefizite) in Ergebnistabellen.

Zum einen wurde der  $\chi^2$ -Test nach Pearson durchgeführt. Der  $\chi^2$ -Test gibt an, ob bezüglich der verschiedenen Füllungsmaterialien entsprechend der unterschiedlichen Merkmale (Imperfektionen REM bzw. POLMI, Wandläsionen POLMI) in den beiden Untersuchungsmethoden Signifikanzen sind.

Zum anderen erfolgte die statistische Auswertung mit dem McNemar-Test. Er wurde verwendet, um einen Vergleich der rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse (Baseline und Thermocycling/Abrasion) durchzuführen und signifikante Unterschiede zu testen.

Für beide Tests wurden die 2-seitigen exakten p-Werte berechnet und mit 0,05 verglichen. Dies bedeutet, dass ein Unterschied bzw. Zusammenhang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % ( $p < 0,05$ ) als statistisch signifikant gewertet wird.

## 4.12 Chronologie des Versuchsablaufes



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Handling der Materialien

Tetric® EvoCeram wies eine hohe Standfestigkeit, aber keine Homogenität auf. Die Applikation wurde durch die Klebrigkeit des Materials erschwert. Besonders beim Einbringen des ersten Inkrementes haftete das Material eher am Instrument als an den Kavitätenwänden. Die weitere Modellation und Gestaltung erfolgte problemlos. Makroskopisch wurde nach Ausarbeitung und Politur eine glatte bzw. glänzende Oberfläche erreicht.

Grandio® stellte sich als sehr homogenes Material mit hoher Standfestigkeit dar. Es konnte durch die geringe Klebrigkeit problemlos in die Kavität appliziert und adaptiert werden. Der Füllungsaufbau und die Modellation des okklusalen Reliefs erfolgten komplikationslos. Makroskopisch wurde bei der Ausarbeitung eine glatte Oberfläche erzielt. Die Politur erbrachte jedoch keinen Oberflächenglanz.

QuixFil® zeigte eine sehr hohe Standfestigkeit mit ausgeprägter Homogenität. Das Material war nicht klebrig, erschwerte aber die Modellation durch die feste Konsistenz. Unmittelbar nach Endhärtung und Entfernung der Matrice stellte sich der approximale Kasten sehr transparent dar (Lupe!). Makroskopisch wurde bereits bei der Ausarbeitung keine durchgängig glatte Oberfläche erreicht. Ebenso konnte nach der Politur kein Oberflächenglanz erzielt werden.

Dyract® eXtra hatte eine geringe Standfestigkeit, wodurch die Applikation und vor allem die Modellation erschwert waren. Die Adaptation des insgesamt homogenen Materials gestaltete sich schwierig, da es geringe Haftung an den Kavitätenwänden zeigte. Makroskopisch konnte mit der Ausarbeitung zwar partiell eine glatte Oberfläche erzielt werden, aber die Politur erbrachte keinen Oberflächenglanz.

## 5.2 Rasterelektronenmikroskopie – Ergebnisse

### - Füllungsimperfectionen - vor und nach Alterung

An acht Proben pro Füllungsmaterial wurden das Oberflächen- und Randverhalten der okklusalen Füllungsanteile untersucht.

Die Ergebnisse der mikromorphologischen Kontrolle werden nach Materialien und Kriterien (siehe Prüfbogen S. 22) geordnet und tabellarisch dargestellt.

#### 5.2.1 Tetric® EvoCeram

Die Darstellung der Detailergebnisse für Tetric® EvoCeram (okklusaler Füllungsbereich) erfolgt in Tab. 2.

Tab. 2: Vergleich Baseline-Thermocycling/Abrasion

Tetric® EvoCeram	Code 0		Code 1		Code 2		Code 3	
	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A
Oberflächenrauhigkeit	0	0	3	1	3	5	2	2
Oberflächentextur	0	0	3	2	3	2	2	4
Randschluss (global)	0	0	4	0	2	0	2	8
Füllungsüberschüsse	0	0	5	6	2	2	1	0
Randabbrüche	8	8	0	0	0	0	0	0
Negative Stufen	4	0	4	0	0	6	0	2
Mikroleakage/Randspalten	8	6	0	2	0	0	0	0
Weitere Randimperfectionen	7	8	1	0	0	0	0	0

BL-Baseline; TC/A-Thermocycling/Abrasion

Tetric® EvoCeram zeigte im mikroskopischen Bild bezüglich des Kriteriums Oberflächenrauhigkeit unmittelbar nach Füllungsanlage bei keiner der Füllungen eine glatte Oberfläche (Code 0). Es ergab sich eine annähernd gleichmäßige Verteilung zwischen lokalen Rauigkeiten (Code 1) bis hin zu Rauigkeiten mehr als 2/3 der Oberfläche (Code 3). Nach thermischer Wechselbelastung und mechanischer Abrasion war überwiegend Code 2 zu verzeichnen.

Direkt nach Füllungsanlage konnte die Oberflächentextur bei keiner der okklusalen Proben als homogen (Code 0) eingestuft werden. Die Verteilung der Inhomogenitäten erfolgte gleichmäßig von 1/3 (Code 1) bis mehr als 2/3 der Oberfläche (Code 3). Nach Alterung wies die Mehrzahl der Oberflächen Inhomogenitäten und regelmäßig verteilte Substrukturen (Code 3) auf.

Bezüglich des globalen Kriteriums Randschluss zeigte die Mehrzahl der Füllungen direkt nach Füllungsanlage vorwiegend lokale Randimperfectionen (Code 1). Nach thermischer und mechanischer Belastung verschlechterte sich das Randverhalten, die Codierung verschob sich von Code 1 nach Code 3.

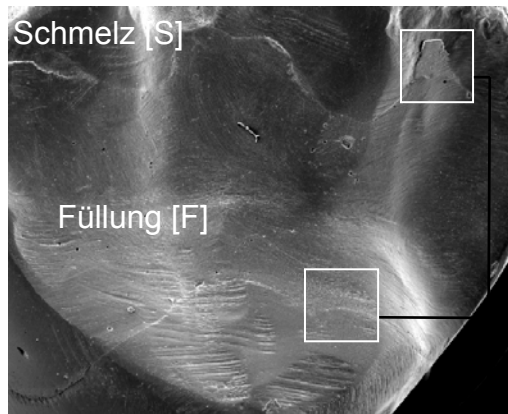
Bei allen Tetric® EvoCeram Füllungen fanden sich an den okklusalen Füllungsbereichen vor Alterung hauptsächlich Füllungsüberschüsse bis 1/3 des Gesamtumfanges (Code 1). Nach Belastung konnten weniger Füllungsüberschüsse festgestellt werden (Abrasion!).

Negative Stufenbildungen wurden unmittelbar nach Füllungsanlage an den okklusalen Füllungsrandern nicht oder nur geringfügig (Code 1) dokumentiert. Nach Thermocycling und Abrasion erfolgte eine Zunahme der negativen Stufen bis zu 2/3 bezogen auf den okklusalen Gesamtumfang (Code 2).

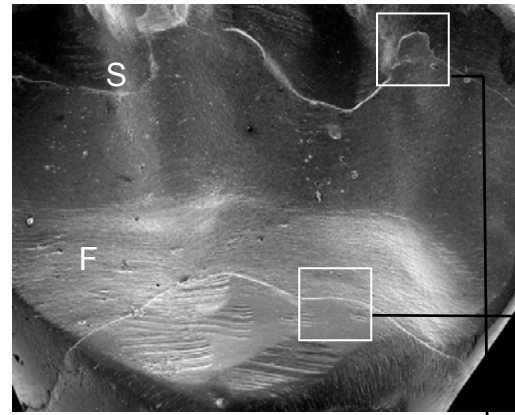
Alle Tetric® EvoCeram Proben zeigten okklusal nach Füllungsanlage kein Mikroleakage (Mikrolücken) (Code 0). Nach künstlicher Alterung trat nur eine geringfügige Verschlechterung dieser Füllungsanteile auf. Randspalten wurden weder zu Baseline noch nach Alterung dokumentiert.

Weitere Randimperfectionen (Schmelzfrakturen) mussten lediglich bei einer der Proben nach thermischer Wechselbelastung und mechanischer Abrasion mit Code 1 (weitere Randimperfectionen bis 1/3 des Gesamtumfanges) bewertet werden.

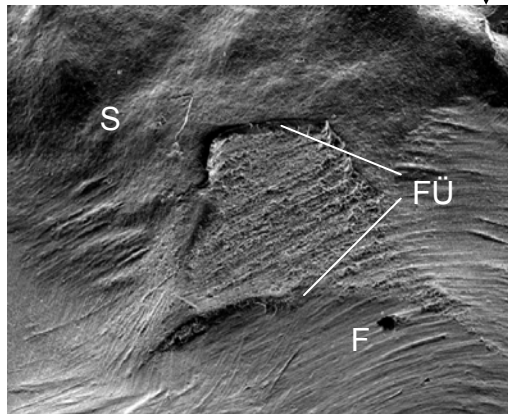
Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 9a – Abb. 9f.



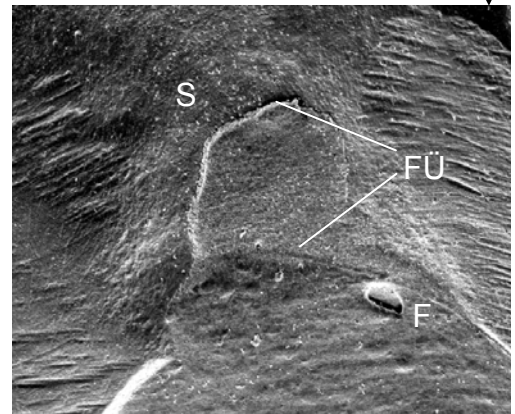
**Abb. 9a:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
okklusal (Probe E 37)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
Baseline



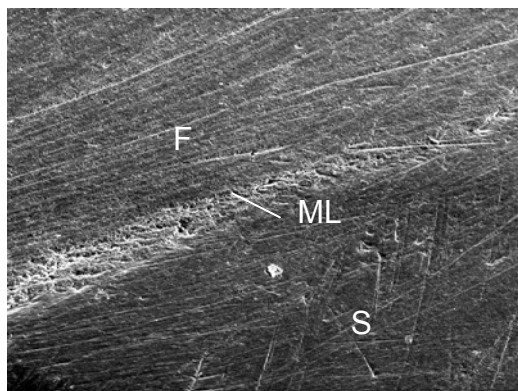
**Abb. 9b:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
okklusal (Probe E 37)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
nach Alterung



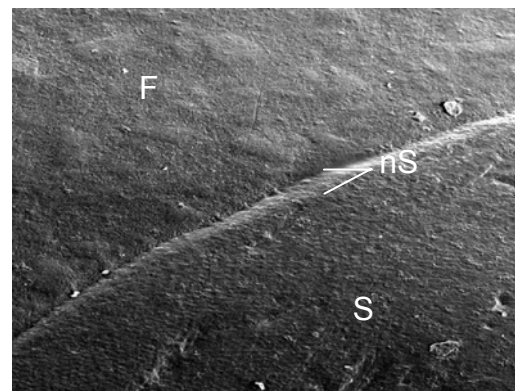
**Abb. 9c:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
okklusal (Probe E 37)  
Ausschnitt-Vergr. (50x)  
Baseline  
Füllungsüberschuss [FÜ]



**Abb. 9d:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
okklusal (Probe E 37)  
Ausschnitt-Vergr. (50x)  
nach Alterung  
Füllungsüberschuss [FÜ]



**Abb. 9e:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
okklusal (Probe E 37)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
vereinzelt Mikroleakage [ML]



**Abb. 9f:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
okklusal (Probe E 37)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
negative Stufe [nS]



### 5.2.2 Grandio®

Die Darstellung der Detailergebnisse für Grandio® (okklusaler Füllungsbereich) erfolgt in Tab. 3.

Tab. 3: Vergleich Baseline-Thermocycling/Abrasion

Grandio®	Code 0		Code 1		Code 2		Code 3	
	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A
Oberflächenrauigkeit	0	1	2	3	3	3	3	1
Oberflächentextur	0	0	5	3	2	4	1	1
Randschluss (global)	0	0	1	0	6	0	1	8
Füllungsüberschüsse	0	0	5	5	2	3	1	0
Randabbrüche	8	8	0	0	0	0	0	0
Negative Stufen	3	0	5	1	0	3	0	4
Mikroleakage/Randspalten	6	1	2	4	0	2	0	1
Weitere Randimperfectionen	7	6	1	2	0	0	0	0

Bei Grandio® konnte das Kriterium Oberflächenrauigkeit zu Baseline bei keiner der Proben mit glatt bewertet werden. Es ergab sich eine annähernd gleichmäßige Verteilung zwischen lokalen Rauigkeiten (Code 1) bis hin zu Rauigkeiten mehr als 2/3 der Oberfläche (Code 3). Nach Belastung gab es nur geringfügige Veränderungen des Verteilungsmusters.

Die Mehrzahl der Grandio® Füllungen zeigte bezüglich des Kriteriums Oberflächentextur unmittelbar nach Füllungsanlage lokale Inhomogenitäten (Code 1). Zwei der Füllungen zeigten regelmäßig verteilte Substrukturen (Code 2) und bei einer Füllung war weniger als 1/3 der Oberfläche homogen (Code 3). Nach Thermocycling und Abrasion nahm die Zahl der okklusalen Inhomogenitäten zu, vier Füllungen wurden mit Code 2 bewertet.

Der Randschluss der okklusalen Füllungsgrenzbereiche der Proben konnte direkt nach Anlage der Füllungen in keinem Fall als perfekter Rand bewertet werden. Sechs Füllungen zeigten schon vor Belastung bis zu 2/3 Randimperfectionen (Code 2). Die Zahl dieser nahm nach Thermocycling und Abrasion deutlich zu. Bei allen Proben war weniger als 1/3 des Füllungsrandes perfekt (Code 3).

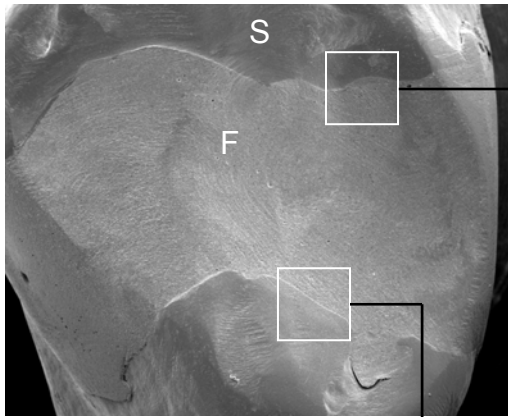
Der überwiegende Teil der Grandio® Füllungen wies nach Füllungsanlage in bis zu 1/3 des okklusalen Füllungsumfanges Füllungsüberschüsse auf (Code 1). Nach Belastung fand sich ein ähnliches Verteilungsmuster.

Direkt nach Füllungsanlage ergab sich bei fünf der Grandio® Proben negative Stufenbildung (Code 1 – negative Stufenbildung bis 1/3 des okklusalen Gesamtumfanges). Nach künstlicher Alterung stellte sich eine Verschlechterung ein.

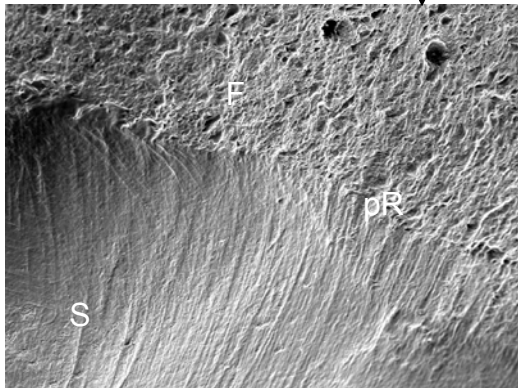
Bezüglich Mikroleakage und Randspalten war eine leichte Verschlechterung nach Alterung sichtbar. Zu Baseline zeigten sich vereinzelt Mikroleakage, nach Alterung traten bei zwei Proben ausgeprägt Mikroleakage auf. Randspalten konnten nach Belastung an einer Probe dokumentiert werden.

Weitere Randimperfectionen (Schmelzfrakturen) konnten bei einer der acht untersuchten Füllungen bereits Baseline bewertet werden. Nach Alterung erhöhte sich die Zahl auf zwei Proben. Die Mehrzahl der okklusalen Füllungsråder wies keine Frakturen randnaher Füllungsanteile oder des Schmelzrandes auf.

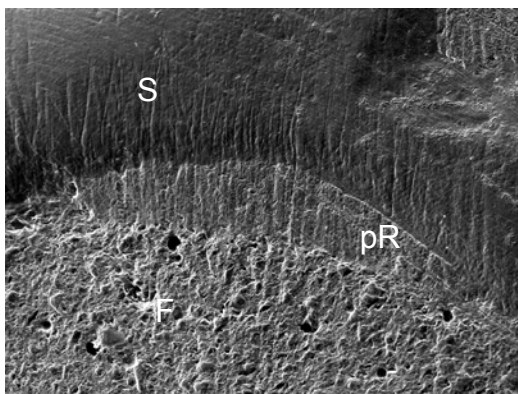
Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 10a – Abb. 10f.



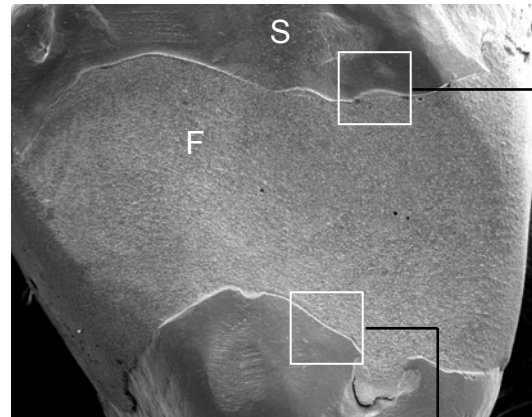
**Abb. 10a:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
Baseline



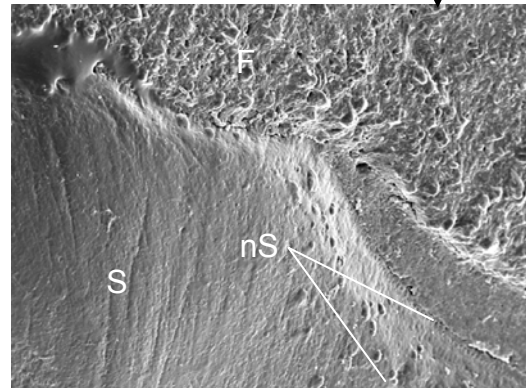
**Abb. 10c:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
perfekter Rand [pR]



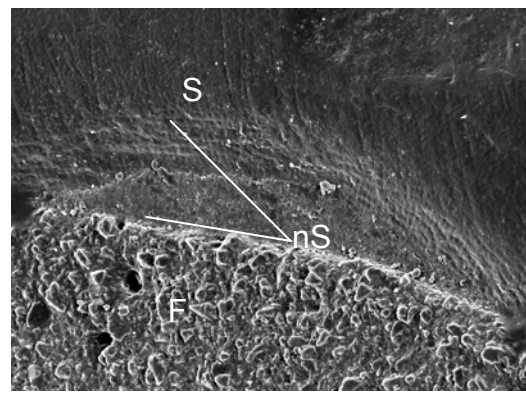
**Abb. 10e:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
perfekter Rand [pR]



**Abb. 10b:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
nach Alterung



**Abb. 10d:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
negative Stufe [nS]



**Abb. 10f:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
negative Stufe [nS]

### 5.2.3 QuixFil®

Die Darstellung der Detailergebnisse für QuixFil® (okklusaler Füllungsbereich) erfolgt in Tab. 4.

Tab. 4: Vergleich Baseline-Thermocycling/Abrasion

QuixFil®	Code 0		Code 1		Code 2		Code 3	
	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A
Oberflächenrauigkeit	0	1	0	5	3	2	5	0
Oberflächentextur	0	0	6	7	2	1	0	0
Randschluss (global)	0	0	1	0	5	0	2	8
Füllungsüberschüsse	0	0	5	7	3	1	0	0
Randabbrüche	8	8	0	0	0	0	0	0
Negative Stufen	2	0	5	0	1	8	0	0
Mikroleakage/Randspalten	3	0	3	0	1	0	1	8
Weitere Randimperfectionen	8	6	0	2	0	0	0	0

QuixFil® zeigte bezüglich des Kriteriums Oberflächenrauigkeit zu Baseline keine perfekten, glatten Oberflächen. Nach thermischer Belastung und mechanischer Abrasion konnte eine deutliche Verbesserung festgestellt werden. Keine der Füllungen musste mehr mit Code 3 (weniger als 1/3 der Oberfläche sind glatt) bewertet werden.

Das Kriterium Oberflächentextur zeigte unmittelbar nach Füllungsanlage bei sechs Proben lokale Inhomogenitäten (Code 1) und bei zwei Füllungen regelmäßig verteilte Substrukturen (Code 2). Nach Alterung zeigte sich eine geringfügige Veränderung.

Das globale Kriterium Randschluss wies zu Baseline bei keiner der Proben einen perfekten Rand auf. Im Verlauf des Belastungstests verschlechterte sich das Randverhalten. Bei allen acht Füllungen waren weniger als 1/3 des Füllungsrandes perfekt.

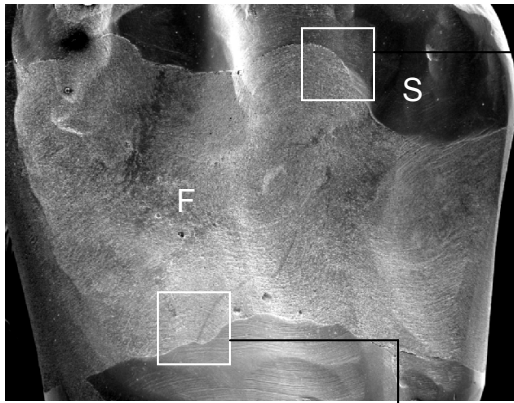
Die Mehrzahl der Proben wies zu Baseline in bis zu 1/3 des okklusalen Füllungsumfanges Füllungsüberschüsse auf. Nach Belastung nahm die Zahl der Füllungsüberschüsse ab (Abrasion!).

Negative Stufenbildungen konnten unmittelbar nach Füllungsanlage an den okklusalen Füllungsändern nicht oder nur geringfügig (Code 1) dokumentiert werden. Nach Thermocycling und Abrasion erfolgte eine Zunahme der negativen Stufen bezogen auf den Gesamtumfang des okklusalen Füllungsanteiles bis zu 2/3 (Code 2).

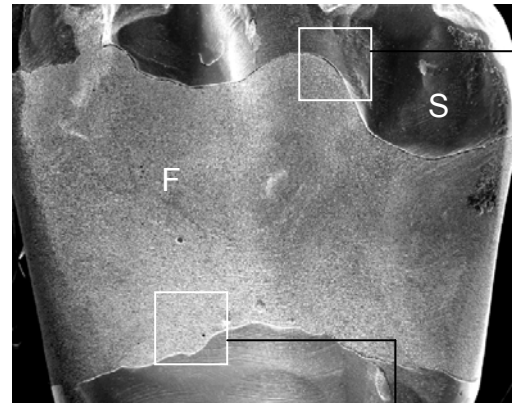
Mikroleakage konnte bei den QuixFil® Füllungen nur vereinzelt beobachtet werden. Die Belastungstests führten zu einer deutlichen Verschlechterung der okklusalen Füllungsrandqualität, es mussten bei allen Proben Randspalten dokumentiert werden.

Vor Versuchsablauf waren keine weiteren Randimperfectionen (Frakturen randnaher Füllungsanteile und Schmelzfrakturen) vorhanden. Nach den Belastungstests fanden sich bei zwei von acht Proben Schmelzrandfrakturen bis 1/3 des Gesamtumfanges.

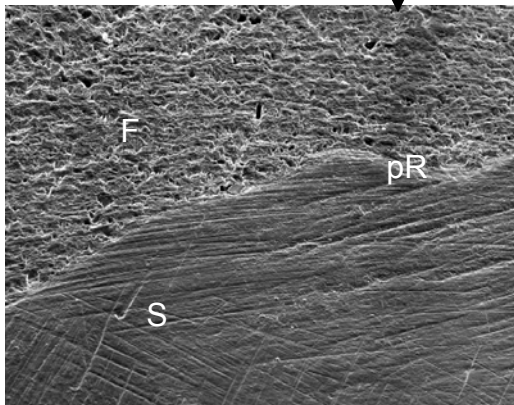
Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 11a – Abb. 11f.



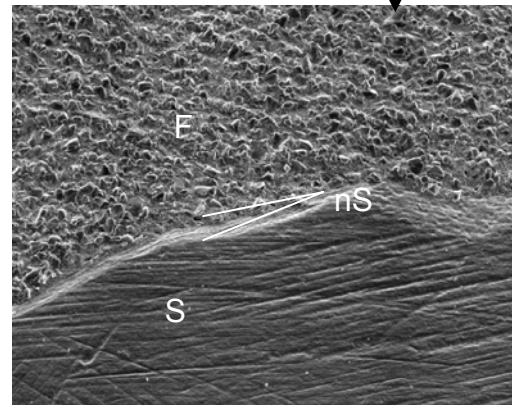
**Abb. 11a:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
Baseline



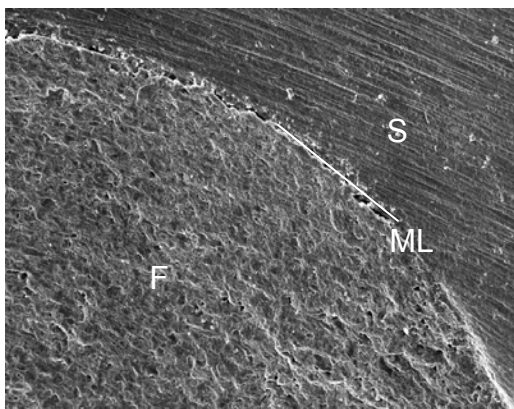
**Abb. 11b:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
nach Alterung



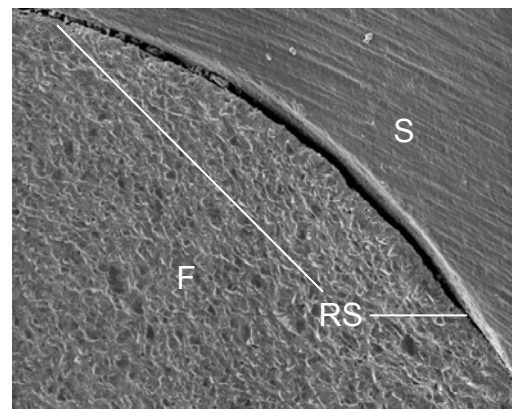
**Abb. 11c:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
perfekter Rand [pR]



**Abb. 11d:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
negative Stufe [nS]



**Abb. 11e:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
ausgeprägt Mikroleakage [ML]



**Abb. 11f:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
Randspalt [RS]

### 5.2.4 Dyract® eXtra

Die Darstellung der Detailergebnisse für Dyract® eXtra (okklusaler Füllungsbereich) erfolgt in Tab. 5.

Tab. 5: Vergleich Baseline-Thermocycling/Abrasion

Dyract® eXtra	Code 0		Code 1		Code 2		Code 3	
	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A	BL	TC/A
Oberflächenrauhigkeit	0	0	0	5	2	3	6	0
Oberflächentextur	0	0	5	5	3	3	0	0
Randschluss (global)	0	0	0	0	1	0	7	8
Füllungsüberschüsse	0	0	2	3	4	3	2	2
Randabbrüche	8	8	0	0	0	0	0	0
Negative Stufen	2	0	5	1	1	5	0	2
Mikroleakage/Randspalten	3	0	3	0	2	0	0	8
Weitere Randimperfectionen	8	8	0	0	0	0	0	0

Dyract® eXtra zeigte bezüglich des Kriteriums Oberflächenrauhigkeit bereits unmittelbar nach Füllungsanlage bei allen Proben ausgeprägt Rauigkeiten (Code 3), keine der Oberflächen war glatt. Nach Thermocycling und Abrasion zeigten sich bei fünf Proben nur noch lokale Rauigkeiten (Code 1) und bei drei Proben Rauigkeiten bis 2/3 der okklusalen Fläche (Code 2).

Für das Kriterium Oberflächentextur ergab sich vor sowie nach Belastung das gleiche Verteilungsmuster auf Code 1 (fünf Proben) und Code 2 (drei Proben), lokale Inhomogenitäten bzw. regelmäßig verteilte Substrukturen.

Bei den Dyract® eXtra Proben konnten zu Baseline bezüglich des globalen Kriteriums Randschluss im Bereich der okklusalen Füllungsrandabschnitte bei keiner Füllung ein perfekter Rand dokumentiert werden. Nach Thermocycling und Abrasion waren bei allen Proben weniger als 1/3 des Füllungsrandes perfekt.

Füllungsüberschüsse wurden vor und nach den Belastungstests annähernd gleichmäßig dokumentiert. Die Proben zeigten Überschüsse von 1/3 (Code 1) bis zu mehr als 2/3 (Code 3) des okklusalen Gesamtumfanges.

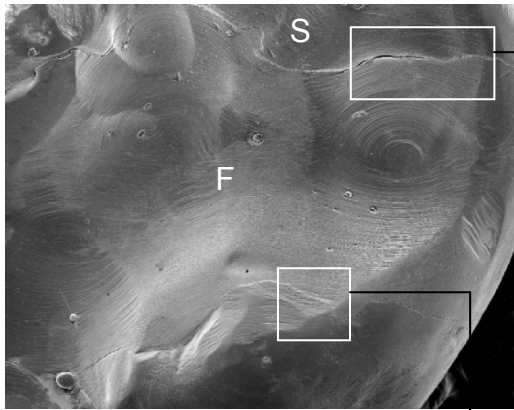
Die Dyract® eXtra Füllungen zeigten unmittelbar nach Füllungsanlage in der überwiegenden Zahl negative Stufenbildung bis zu 1/3 des okklusalen Gesamt-

umfanges (Code 1). Nach Thermocycling und Abrasion erfolgte eine Zunahme der negativen Stufenbildung bis zu 2/3 der Oberfläche (Code 2).

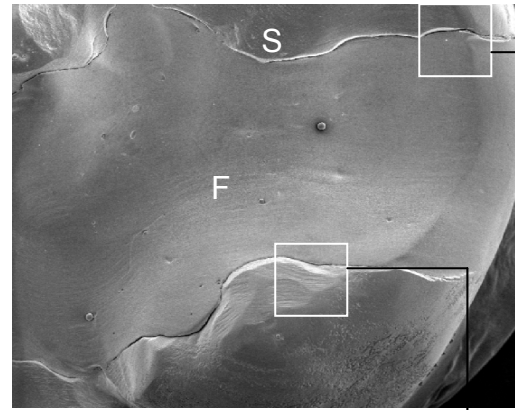
Zu Baseline zeigte sich bezüglich Mikroleakage eine annähernd gleichmäßige Verteilung von Code 0 bis Code 2. Nach thermischer Wechselbelastung und mechanischer Abrasion zeigte sich eine deutliche Verschlechterung. Alle Proben zeigten Randspalten.

Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 12a – Abb. 12f.

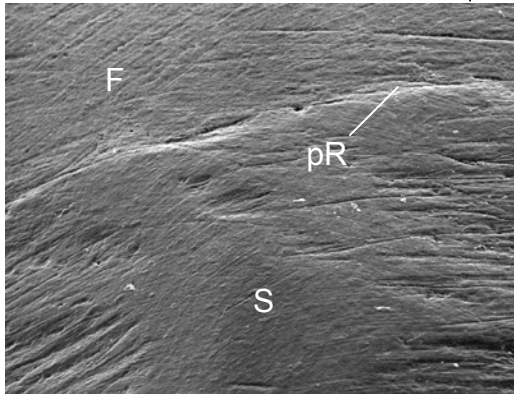




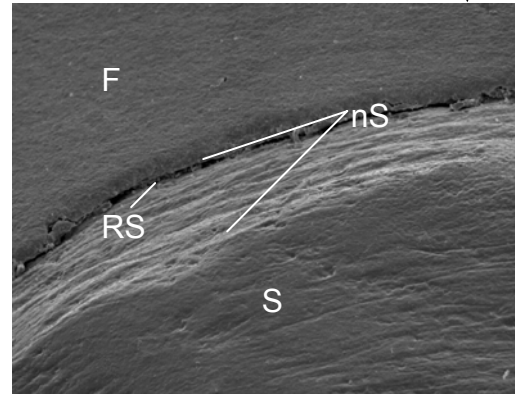
**Abb. 12a:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 36)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
Baseline



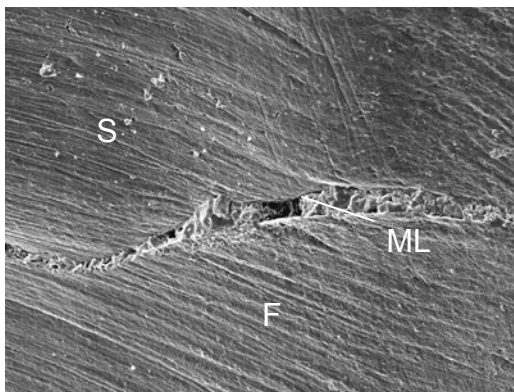
**Abb. 12b:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 36)  
Übersicht-Vergr. (10x)  
nach Alterung



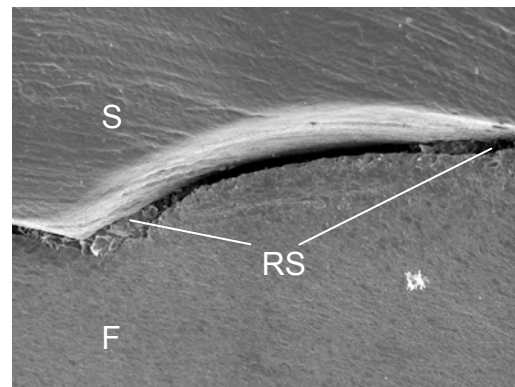
**Abb. 12c:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 36)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
perfekter Rand [pR]



**Abb. 12d:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 36)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
Randspalt [RS], negative Stufe [nS]



**Abb. 12e:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 36)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Baseline  
ausgeprägt Mikroleakage [ML]



**Abb. 12f:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 36)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
nach Alterung  
Randspalt [RS]

### 5.3 Rasterelektronenmikroskopie – Ergebnisse

#### - Füllungsimperfectionen - nach Alterung

Es wurden jeweils 25 Proben pro Füllungsmaterial nach Thermocycling und Abrasion ausgewertet. Im okklusalen Füllungsbereich wurde dabei die freie Oberfläche mit zwei M-(microscopical) Kriterien und die Grenzfläche Füllung-Zahnhartsubstanz mit sechs M-(microscopical) Kriterien des CPM-Index bewertet. Bei den approximalen Stufen im Schmelz und Dentin erfolgte ausschließlich die Bewertung des Grenzflächenbereiches Füllung-Zahnhartsubstanz mit sechs M-(microscopical) Kriterien des CPM-Index.

Die Detailergebnisse der mikromorphologischen Kontrolle werden im Folgenden nach Materialien, Kriterien (siehe Prüfbogen S. 22) und Grenzflächenbereich geordnet und tabellarisch dargestellt.

#### 5.3.1 Tetric® EvoCeram

Die Detailergebnisse für Tetric® EvoCeram sind in Tab. 6 dargestellt.

Tab. 6: Tetric® EvoCeram

<b>Tetric® EvoCeram</b>	<b>Code 0</b>			<b>Code 1</b>			<b>Code 2</b>			<b>Code3</b>		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D
Oberflächenrauigkeit	0	–	–	3	–	–	18	–	–	4	–	–
Oberflächentextur	0	–	–	0	–	–	1	–	–	24	–	–
Randschluss (global)	0	2	0	0	1	4	0	7	2	25	15	19
Füllungsüberschüsse	0	21	9	16	3	6	9	1	5	0	0	5
Randabbrüche	25	23	24	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Negative Stufenbildung	0	20	24	1	2	0	14	1	0	10	2	1
Mikroleakage/Randspalten	18	2	4	6	5	6	0	6	7	1	12	8
Weitere Randimperfekt.	24	21	25	1	3	0	0	0	0	0	1	0

O - okkusal; S - proximale Stufe im Schmelz; D - proximale Stufe im Dentin

Tetric® EvoCeram zeigte bezüglich des Kriteriums Oberflächenrauigkeit lokale Rauigkeiten (Code 1) oder Rauigkeiten bis zu mehr als 2/3 der Oberfläche (Code 3). Mit Code 0 (die gesamte Oberfläche ist glatt) konnte keine der 25 Proben bewertet werden. Die Mehrzahl der freien Oberflächen im okklusalen Füllungsbereich wurden mit Code 2 (1/3 bis 2/3 der Oberfläche sind glatt) bewertet.

Das Kriterium Oberflächentextur musste im okklusalen Füllungsbereich bei Tetric® EvoCeram überwiegend mit Code 3 (weniger als 1/3 der Oberfläche sind homogen und weisen keine oder regelmäßig verteilte Substrukturen auf) bewertet werden.

Bezüglich des globalen Kriteriums Randschluss mussten im okklusalen Füllungsgrenzbereich alle 25 Proben, sowie die Mehrzahl bei den Grenzflächenbeziehungen approximale Stufen-Schmelz und approximale Stufen-Dentin mit Code 3 (weniger als 1/3 des Füllungsrandes ist perfekt) bewertet werden.

Füllungsüberschüsse wurden bei Tetric® EvoCeram im okklusalen Füllungsgrenzbereich und an den approximalen Stufen im Dentin häufiger dokumentiert, als an den approximalen Stufen im Schmelz.

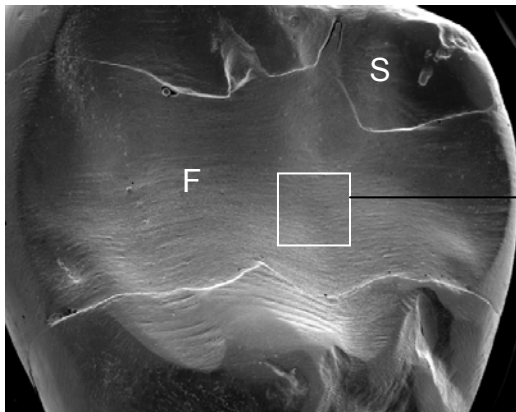
Randabbrüche konnten vereinzelt an den approximalen Grenzflächenbereichen festgestellt werden.

Negative Stufenbildung wurde an den approximalen Grenzflächen vereinzelt dokumentiert, während der okklusale Füllungsgrenzbereich negative Stufenbildung bis 2/3 des Gesamtumfanges (Code 2) zeigte.

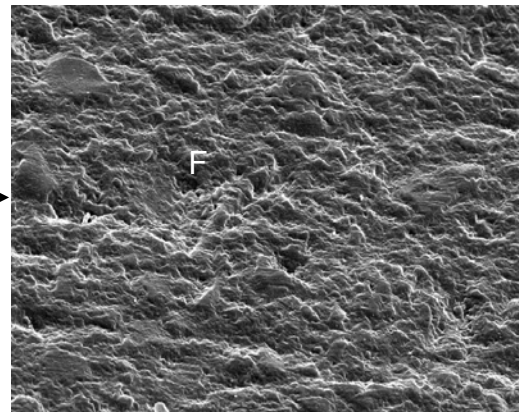
Tetric® EvoCeram zeigte im okklusalen Füllungsbereich bei 18 der 25 Proben kein Mikroleakage und bei sechs Proben vereinzelt Mikroleakage. Randspalten als Kontinuitätstrennung zwischen Zahnhartsubstanz und Füllungsmaterial waren nicht vorhanden. An den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin zeigten sich bei der Mehrzahl der Proben ausgeprägt Mikroleakage und Randspalten.

Weitere Randimperfectionen (Schmelzrandfrakturen) traten okkusal, sowie an den approximalen Stufen im Schmelz vereinzelt und an den approximalen Stufen im Dentin nicht auf.

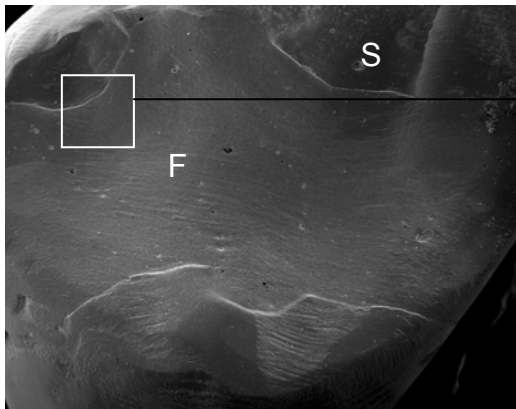
Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 13a – Abb. 19b.



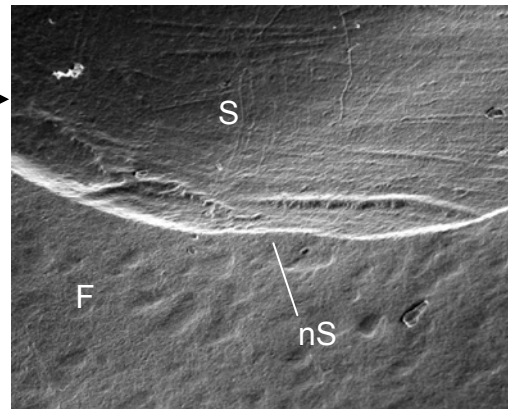
**Abb. 13a:** Tetric® EvoCeram-Füllung okklusal (Probe E 33)  
Übersicht-Vergr. (10x)



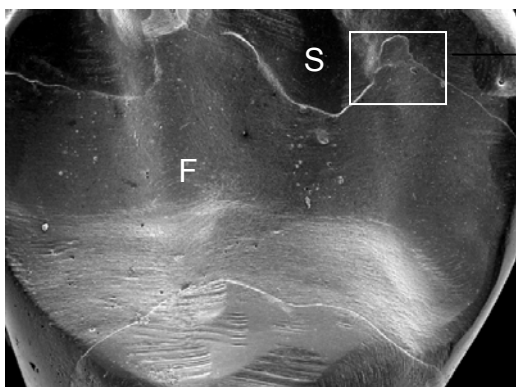
**Abb. 13b:** Tetric® EvoCeram-Füllung okklusal (Probe E 33)  
Ausschnitt-Vergr. (1000x)  
Oberflächentextur



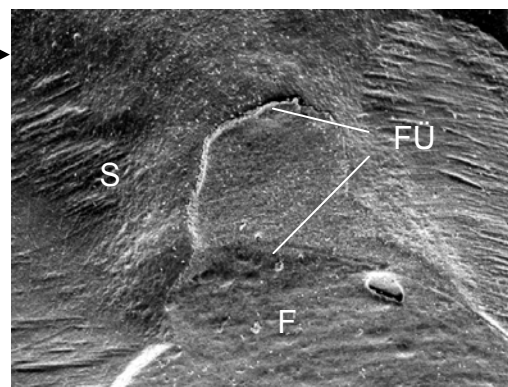
**Abb. 14a:** Tetric® EvoCeram-Füllung okklusal (Probe E 38)  
Übersicht-Vergr. (10x)



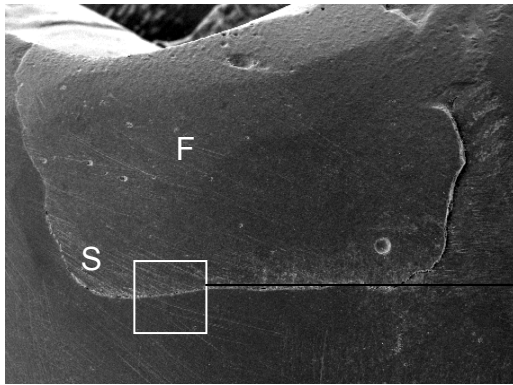
**Abb. 14b:** Tetric® EvoCeram-Füllung okklusal (Probe E 38)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
negative Stufe [nS]



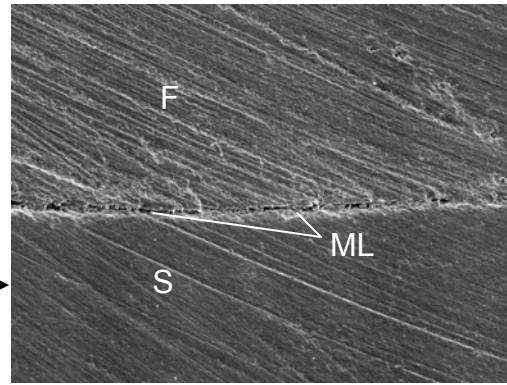
**Abb. 15a:** Tetric® EvoCeram-Füllung okklusal (Probe E 37)  
Übersicht-Vergr. (10x)



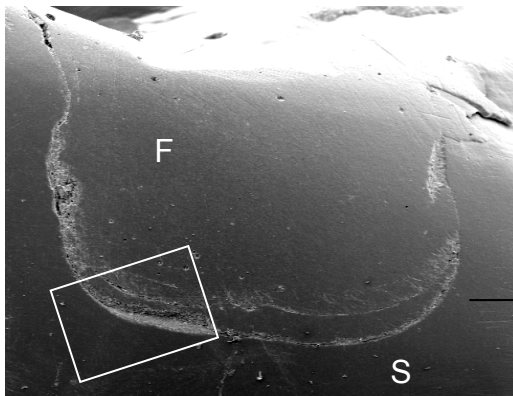
**Abb. 15b:** Tetric® EvoCeram-Füllung okklusal (Probe E 37)  
Ausschnitt-Vergr. (50x)  
Füllungsüberschuss [FÜ]



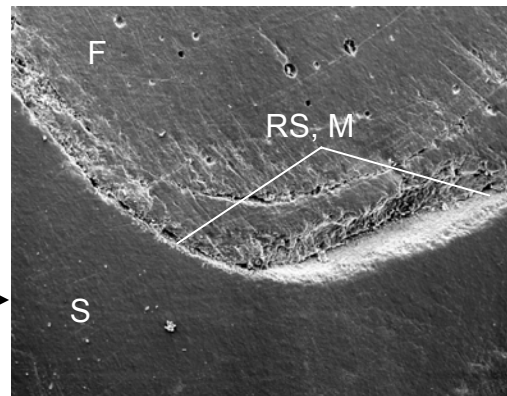
**Abb. 16a:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe E 38)  
Übersicht-Vergr. (10x)



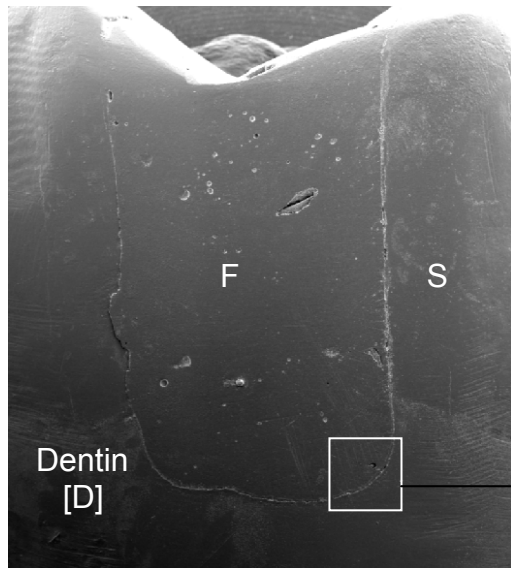
**Abb. 16b:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe E 38)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
vereinzelt Mikroleakage [ML]



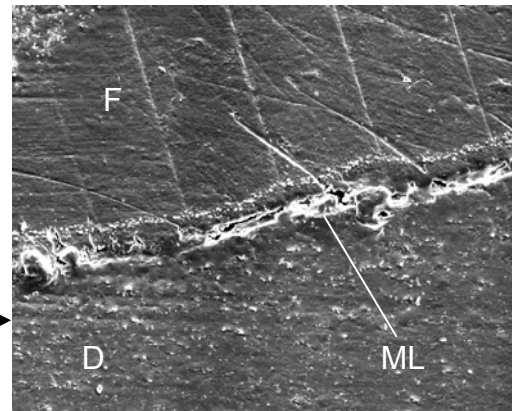
**Abb. 17a:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe E 28)  
Übersicht-Vergr. (10x)



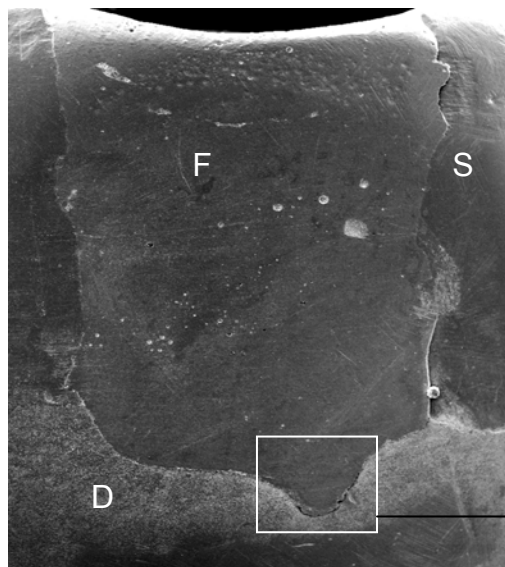
**Abb. 17b:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe E 28)  
Ausschnitt-Vergr. (100x)  
Randspalt [RS], Materialdefizit [M]



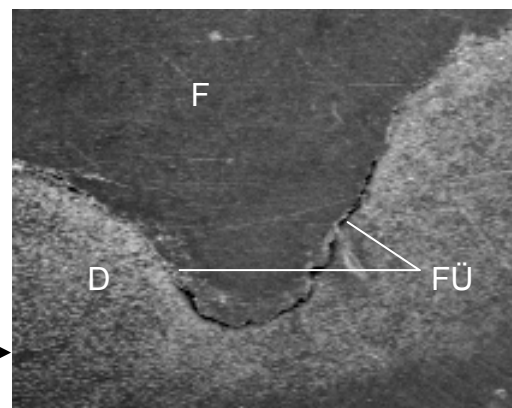
**Abb. 18a:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe E 28)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 18b:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe E 28)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
ausgeprägt Mikroleakage [ML]



**Abb. 19a:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe E 32)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 19b:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe E 32)  
Ausschnitt-Vergr. (100x)  
Füllungsüberschuss [FÜ]  
(ohne Kontakt zur darunter befindlichen  
Zahnhartsubstanz)

### 5.3.2 Grandio®

Die Detailergebnisse für Grandio® sind in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7: Grandio®

Grandio®	Code 0			Code 1			Code 2			Code3		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D
Oberflächenrauigkeit	3	–	–	10	–	–	8	–	–	4	–	–
Oberflächentextur	0	–	–	18	–	–	6	–	–	1	–	–
Randschluss (global)	0	13	0	0	8	4	2	2	8	23	2	13
Füllungsüberschüsse	1	20	12	17	5	7	7	0	1	0	0	5
Randabbrüche	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Negative Stufenbildung	0	24	24	2	0	0	10	0	0	13	1	1
Mikroleakage/Randspalten	5	16	6	10	6	9	5	1	4	5	2	6
Weitere Randimperfekt.	22	25	25	3	0	0	0	0	0	0	0	0

O - okklusal; S - proximale Stufe im Schmelz; D - proximale Stufe im Dentin

Bei Grandio® wurde das Kriterium Oberflächenrauigkeit von glatt (Code 0) bis weniger als 2/3 der Oberfläche sind glatt (Code 3) beurteilt, wobei zehn der 25 okklusalen Füllungsbereiche mit Code 1 und acht mit Code 2 (1/3 bis 2/3 der Oberfläche sind glatt) bewertet wurden.

Die Oberflächentextur, bezogen auf die Homogenität des Materials und Verteilung von Substrukturen, konnte bei Grandio® überwiegend mit Code 1 (lokale Inhomogenitäten) bewertet werden.

Bezüglich des globalen Kriteriums Randschluss mussten im okklusalen Füllungsgrenzbereich 23 Proben, sowie 13 der 25 Proben bei der Grenzflächenbeziehung proximale Stufen-Dentin mit Code 3 (weniger als 1/3 des Füllungsrandes ist perfekt) bewertet werden. Der Füllungsgrenzbereich proximale Stufen-Schmelz konnte überwiegend mit Code 0 (perfekter Rand) und Code 1 (lokale Randimperfektionen) bewertet werden.

Bei Grandio® wurden Füllungsüberschüsse im okklusalen Füllungsgrenzbereich und an den proximalen Stufen im Dentin häufiger dokumentiert, als an den proximalen Stufen im Schmelz.

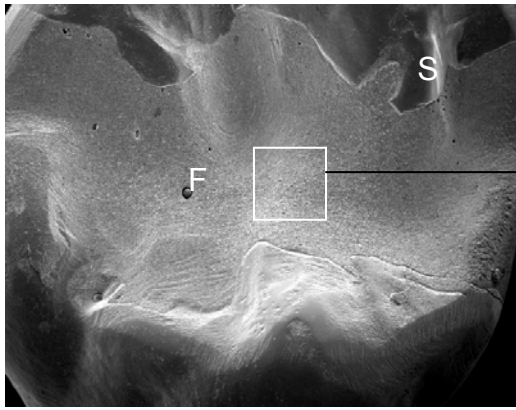
Während negative Stufenbildung an den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin vereinzelt auftrat, musste der okklusale Füllungsgrenzbereich überwiegend mit Code 2 bis Code 3 (negative Stufenbildung bis bzw. mehr als 2/3 des Gesamtumfanges) bewertet werden.

Die Mehrzahl der 25 Proben zeigten Mikrolücken. Im okklusalen Füllungsgrenzbereich und an den approximalen Stufen im Dentin waren vereinzelt Randspalten nachweisbar.

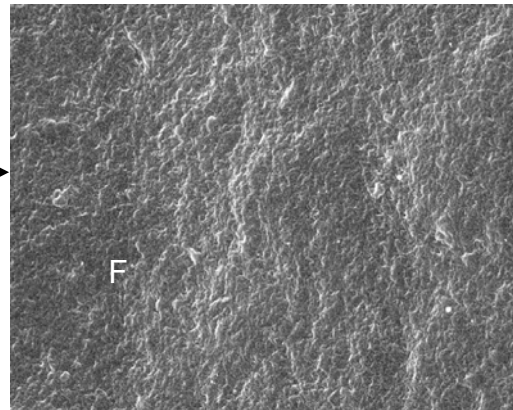
Weitere Randimperfectionen (Schmelzrandfrakturen) traten okklusal vereinzelt, approximal an den Stufen im Schmelz und Dentin nicht auf.

Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 20a – Abb. 26b.

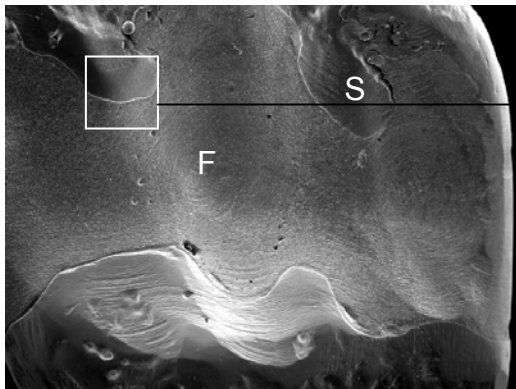




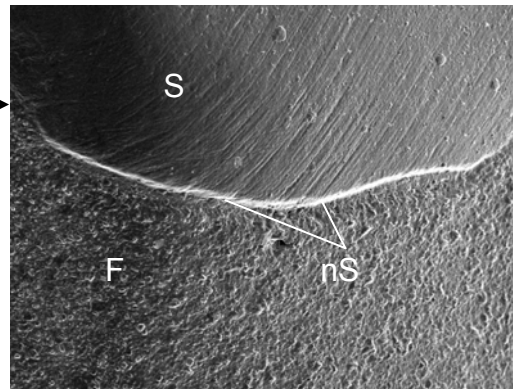
**Abb. 20a:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Übersicht-Vergr. (10x)



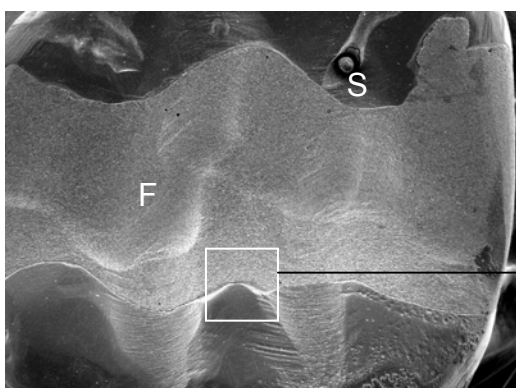
**Abb. 20b:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 29)  
Ausschnitt-Vergr. (1000x)  
Oberflächentextur



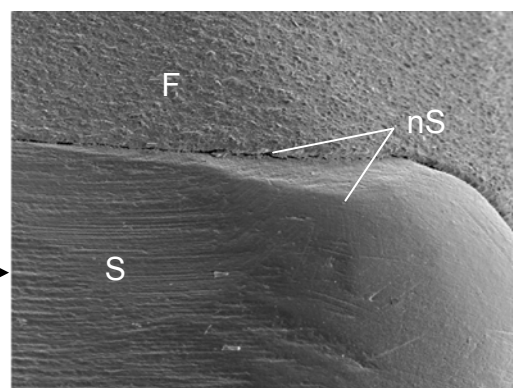
**Abb. 21a:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 25)  
Übersicht-Vergr. (10x)



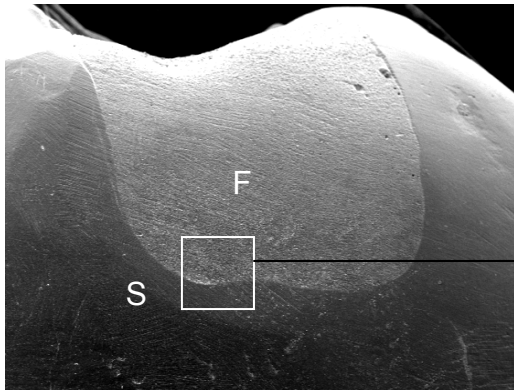
**Abb. 21b:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 25)  
Ausschnitt-Vergr. (100x)  
negative Stufe [nS]



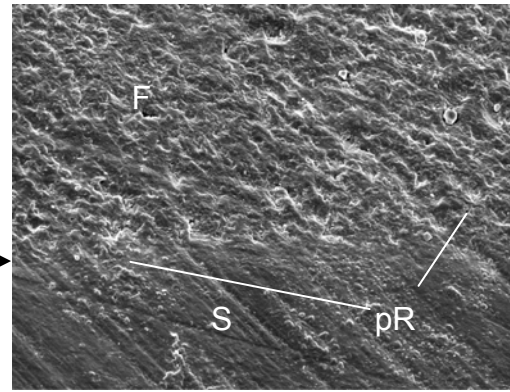
**Abb. 22a:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 17)  
Übersicht-Vergr. (10x)



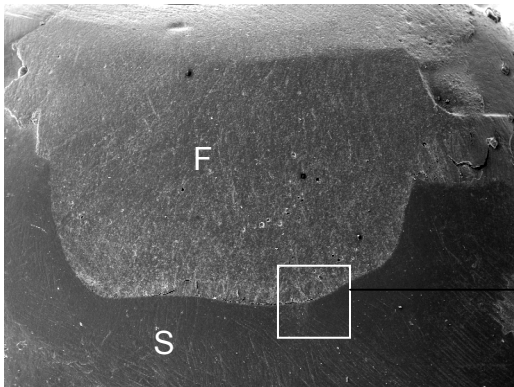
**Abb. 22b:** Grandio®-Füllung  
okklusal (Probe G 17)  
Ausschnitt-Vergr. (100x)  
negative Stufe [nS]



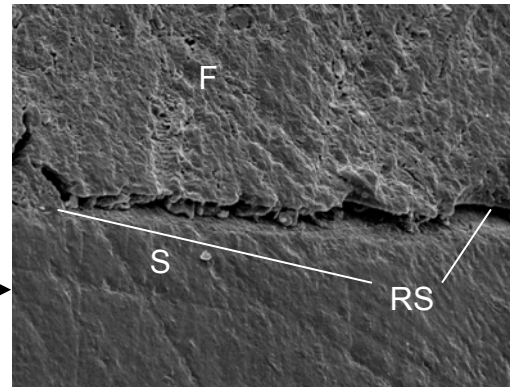
**Abb. 23a:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe G 16)  
Übersicht-Vergr. (10x)



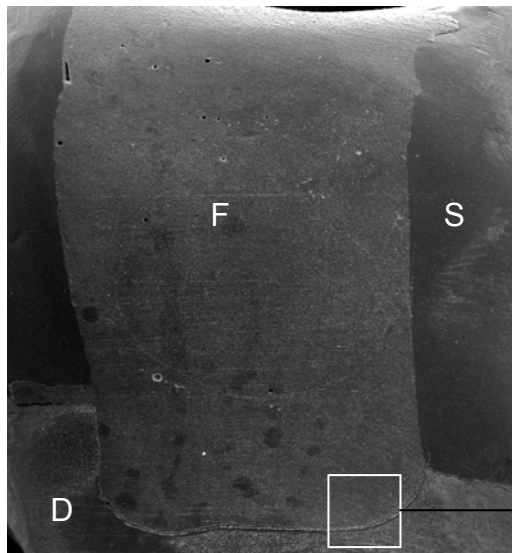
**Abb. 23b:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe G 16)  
Ausschnitt-Vergr. (400x)  
perfekter Rand [pR]



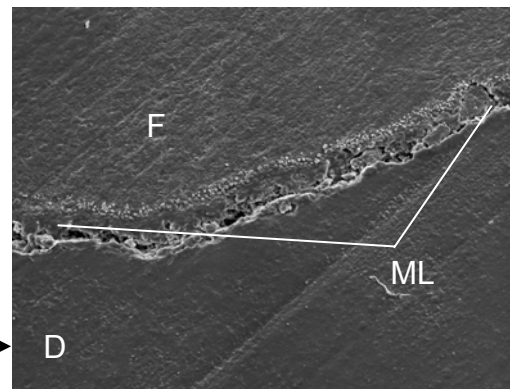
**Abb. 24a:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe G 27)  
Übersicht-Vergr. (10x)



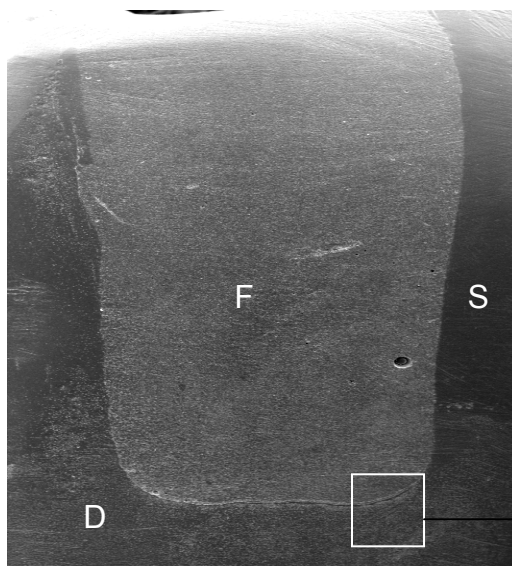
**Abb. 24b:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe G 27)  
Ausschnitt-Vergr. (400x)  
Randspalt [RS]



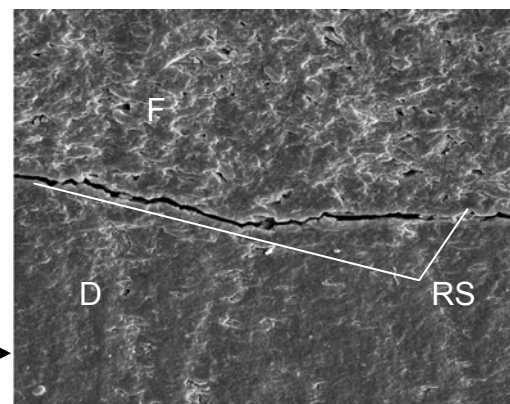
**Abb. 25a:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe G 16)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 25b:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe G 16)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
ausgeprägt Mikroleakage [ML]



**Abb. 26a:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe G 20)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 26b:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe G 20)  
Ausschnitt-Vergr. (800x)  
Randspalt [RS]

### 5.3.3 QuixFil®

Die Detailergebnisse für QuixFil® sind in Tab. 8 dargestellt.

Tab. 8: QuixFil®

QuixFil®	Code 0			Code 1			Code 2			Code3		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D
Oberflächenrauigkeit	3	–	–	13	–	–	9	–	–	0	–	–
Oberflächentextur	1	–	–	20	–	–	3	–	–	1	–	–
Randschluss (global)	0	6	0	0	6	5	0	2	5	25	11	15
Füllungsüberschüsse	0	20	8	18	3	3	7	1	6	0	1	8
Randabbrüche	24	25	24	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Negative Stufenbildung	0	24	25	1	0	0	15	1	0	9	0	0
Mikroleakage/Randspalten	0	7	11	5	5	8	6	3	2	14	10	4
Weitere Randimperfekt.	22	23	25	3	1	0	0	1	0	0	0	0

O - okklusal; S - proximale Stufe im Schmelz; D - proximale Stufe im Dentin

Bei QuixFil® wurden bezüglich des Kriteriums Oberflächenrauigkeit 13 der 25 okklusalen Füllungsbereiche mit Code 1 und neun mit Code 2 (1/3 bis 2/3 der Oberfläche sind glatt) bewertet.

Das Kriterium Oberflächentextur zeigte überwiegend lokale Inhomogenitäten und regelmäßig verteilte Substrukturen.

Der Randschluss konnte bei sechs der 25 approximalen Stufen im Schmelz als perfekt (Code 0) eingestuft werden. Alle 25 okklusalen Proben, elf der approximalen Stufen im Schmelz und 15 der approximalen Stufen im Dentin mussten mit Code 3 (weniger als 1/3 des Füllungsrandes ist perfekt) bewertet werden.

Füllungsüberschüsse konnten bei QuixFil® im okklusalen Füllungsgrenzbereich, sowie an den approximalen Stufen im Dentin häufiger dokumentiert werden, während an den approximalen Stufen im Schmelz die Mehrzahl der 25 Proben keine Füllungsüberschüsse aufwiesen.

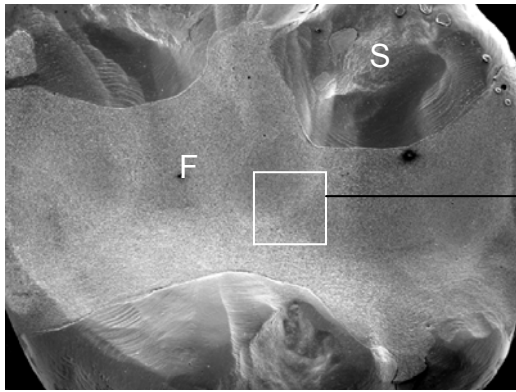
Randabbrüche wurden okklusal und an den approximalen Stufen im Dentin je einmal dokumentiert.

QuixFil® zeigte bezüglich des Kriteriums negative Stufenbildung im okklusalen Grenzflächenbereich vorwiegend negative Stufenbildung von 1/3 bis 2/3 des Gesamtumfanges (Code 2) bei 15 der 25 Proben, bis mehr als 2/3 des Gesamtumfanges (Code 3) bei neun Proben. Fast alle approximalen Füllungsgrenzbereiche im Schmelz und Dentin wiesen keine negative Stufenbildung auf.

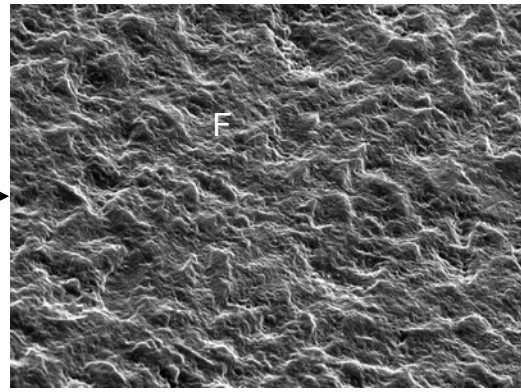
Bezüglich des Kriteriums Mikroleakage wurden im okklusalen Füllungsbereich bei fünf Proben vereinzelt und bei sechs Proben ausgeprägt Mikroleakage festgestellt. Bei 14 der 25 Proben traten Randspalten auf. An den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin zeigte sich Mikroleakage bis Code 2. Randspalten wurden an den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin dokumentiert, diese waren teilweise schon in den Übersichtsaufnahmen zu erkennen (Abb. 31a, Abb. 33a).

Weitere Randimperfectionen (Schmelzrandfrakturen) traten okkusal und approximal an den Stufen im Schmelz vereinzelt und an den approximalen Stufen im Dentin nicht auf.

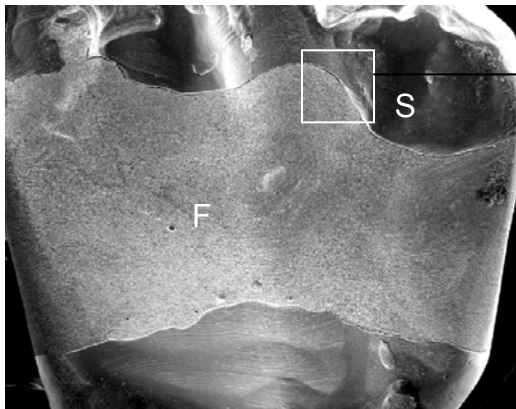
Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 27a – Abb. 33b.



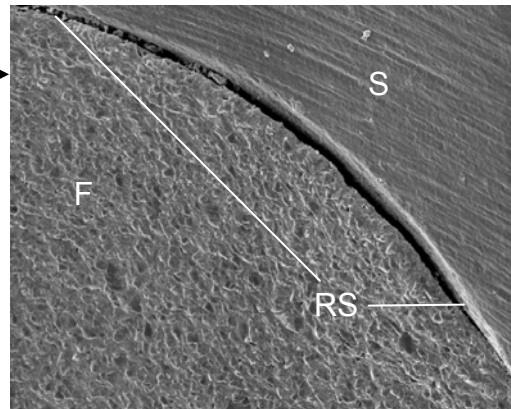
**Abb. 27a:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 34)  
Übersicht-Vergr. (10x)



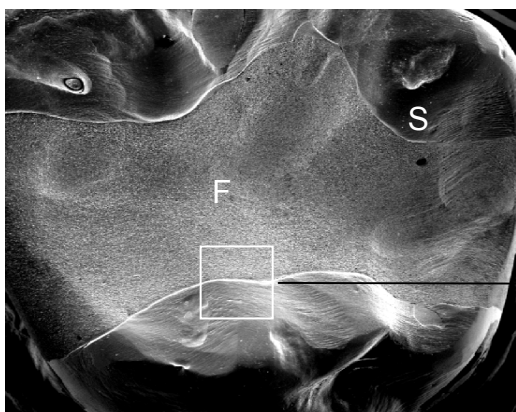
**Abb. 27b:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 34)  
Ausschnitt-Vergr. (1000x)  
Oberflächentextur



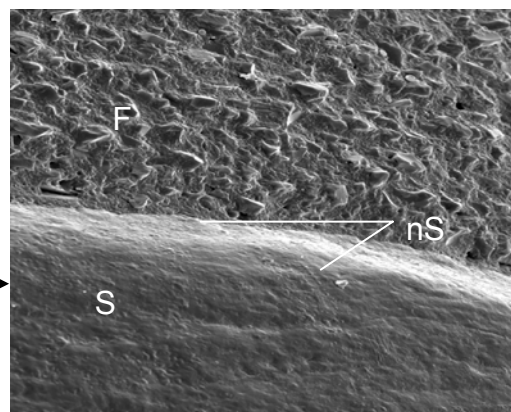
**Abb. 28a:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Übersicht-Vergr. (10x)



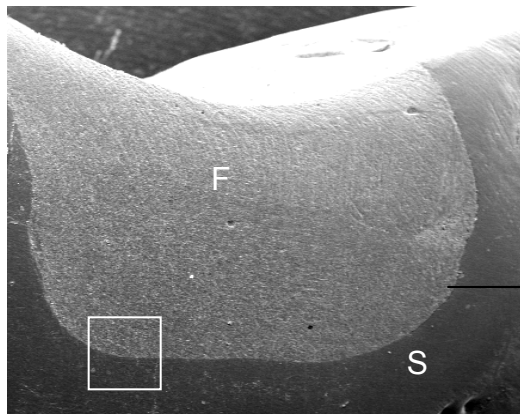
**Abb. 28b:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 32)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Randspalt [RS]



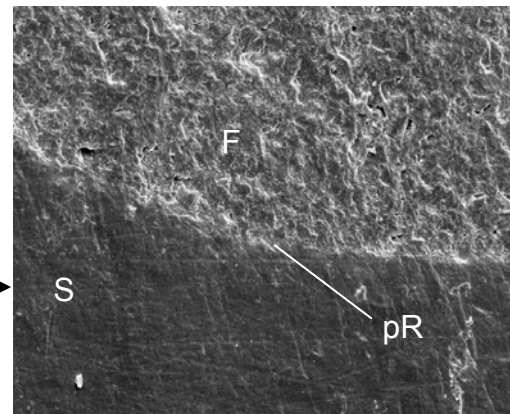
**Abb. 29a:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 21)  
Übersicht-Vergr. (10x)



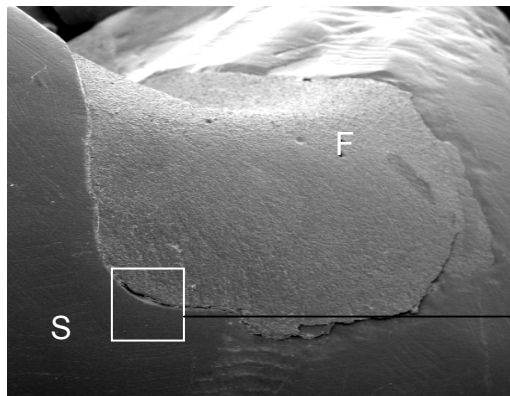
**Abb. 29b:** QuixFil®-Füllung  
okklusal (Probe X 21)  
Ausschnitt-Vergr. (400x)  
negative Stufe [nS]



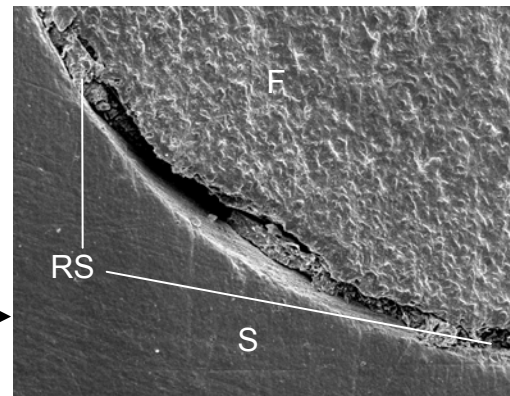
**Abb. 30a:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe X 27)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 30b:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe X 27)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
perfekter Rand [pR]

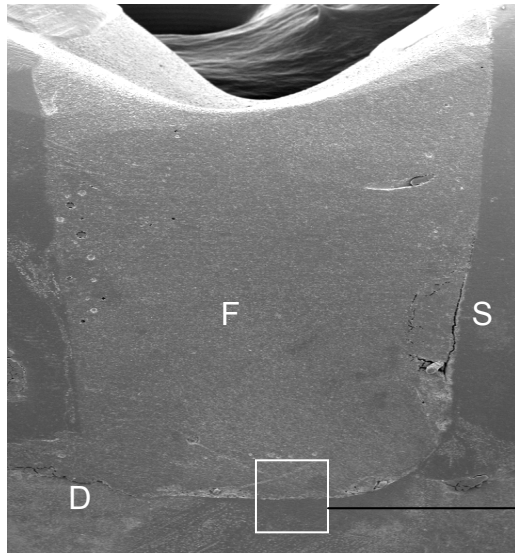


**Abb. 31a:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe X 16)  
Übersicht-Vergr. (10x)

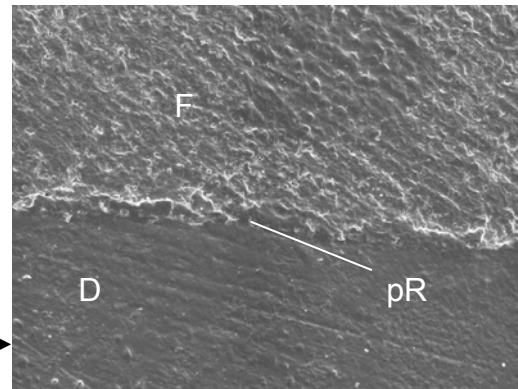


**Abb. 31b:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe X 16)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Randspalt [RS]

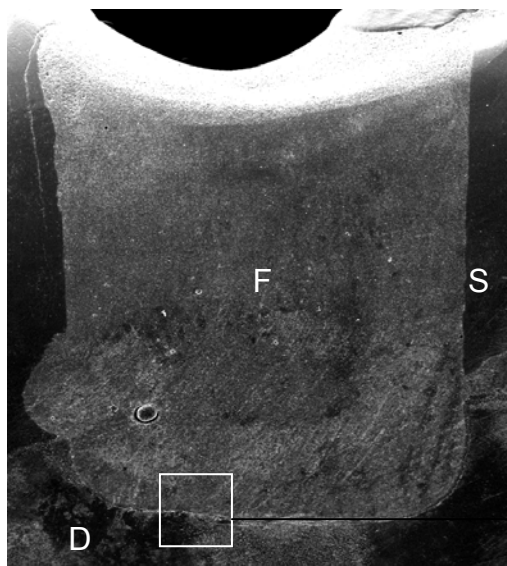




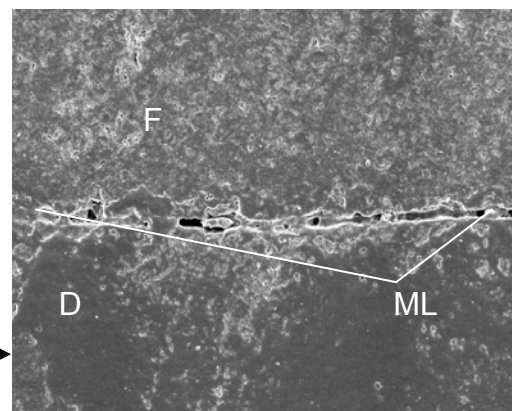
**Abb. 32a:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe X 18)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 32b:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe X 18)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
perfekter Rand [pR]



**Abb. 33a:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe X 26)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 33b:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe X 18)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
ausgeprägt Mikroleakage [ML]



### 5.3.4 Dyract® eXtra

Die Detailergebnisse für Dyract® eXtra sind in Tab. 9 dargestellt.

Tab. 9: Dyract® eXtra

Dyract® eXtra	Code 0			Code 1			Code 2			Code3		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D
Oberflächenrauigkeit	0	–	–	13	–	–	8	–	–	4	–	–
Oberflächentextur	4	–	–	16	–	–	5	–	–	0	–	–
Randschluss (global)	0	5	0	0	13	1	1	5	11	24	2	13
Füllungsüberschüsse	1	21	14	16	2	6	8	2	1	0	0	4
Randabbrüche	21	22	16	4	3	7	0	0	1	0	0	1
Negative Stufenbildung	0	24	25	2	1	0	9	0	0	14	0	0
Mikroleakage/Randspalten	3	9	8	4	9	7	6	5	7	12	2	3
Weitere Randimperfekt.	15	20	24	10	3	1	0	0	0	0	2	0

O - okklusal; S - proximale Stufe im Schmelz; D - proximale Stufe im Dentin

Dyract® eXtra zeigte bezüglich des Kriteriums Oberflächenrauigkeit bei der Mehrzahl der 25 Proben lokale Rauigkeiten.

Bezüglich Oberflächentextur waren bei Dyract® eXtra überwiegend lokale Inhomogenitäten und regelmäßig verteilte Substrukturen (Code 1) nachzuweisen.

Bezüglich des globalen Kriteriums Randschluss mussten im okklusalen Füllungsgrenzbereich 24 Proben, sowie 13 der 25 Proben bei der Grenzflächenbeziehung proximale Stufen-Dentin mit Code 3 (weniger als 1/3 des Füllungsrandes ist perfekt) bewertet werden. Der Füllungsgrenzbereich proximale Stufen-Schmelz zeigte überwiegend Code 0 (perfekter Rand) und Code 1.

Füllungsüberschüsse konnten bei Dyract® eXtra im okklusalen Füllungsgrenzbereich, sowie an den proximalen Stufen im Dentin häufiger dokumentiert werden. An den proximalen Stufen im Schmelz traten an 21 der 25 Proben keine Füllungsüberschüsse (Code 0) auf.

Randabbrüche bis 1/3 des Gesamtumfanges (Code 1) zeigten vier Proben im okklusalen Füllungsgrenzbereich, drei Proben im proximalen Füllungsgrenzbereich im Schmelz und sieben Proben proximal an den Stufen im Dentin. An

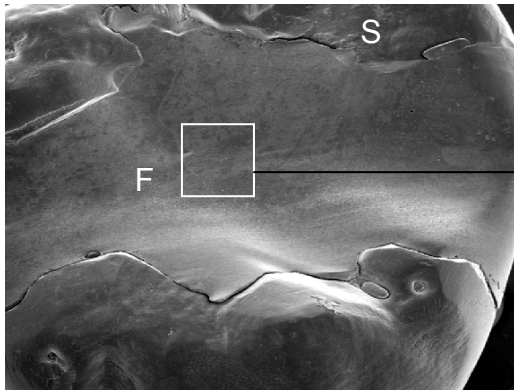
den approximalen Stufen im Dentin hatten zwei der 25 Proben bis zu mehr als 2/3 des Gesamtumfanges Randabbrüche.

Während negative Stufen an den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin nicht (Code 0) bzw. vereinzelt (Code 1) auftraten, musste der okklusale Füllungsgrenzbereich überwiegend mit Code 2 und Code 3 (negative Stufenbildung mehr als 2/3 des Gesamtumfanges) bewertet werden.

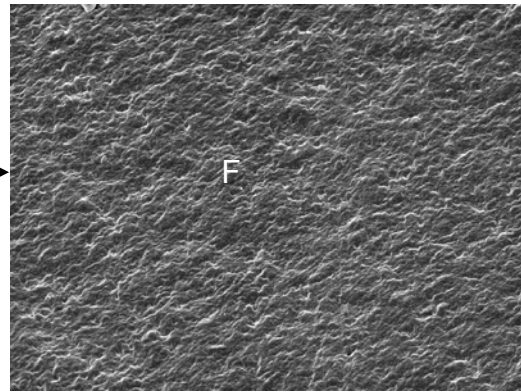
Randspalten traten an zwölf der okklusalen Füllungsgrenzbereiche auf. Die approximalen Grenzflächenbeziehungen im Schmelz und im Dentin zeigten wenige Randspalten (Abb. 38a, Abb. 40a).

Weitere Randimperfectionen (Schmelzrandfrakturen) wurden im okklusalen Füllungsgrenzbereich bei zehn Proben mit bis zu 1/3 des Gesamtumfanges (Code 1) dokumentiert. An den approximalen Stufen im Schmelz und Dentin traten weitere Randimperfectionen vereinzelt auf.

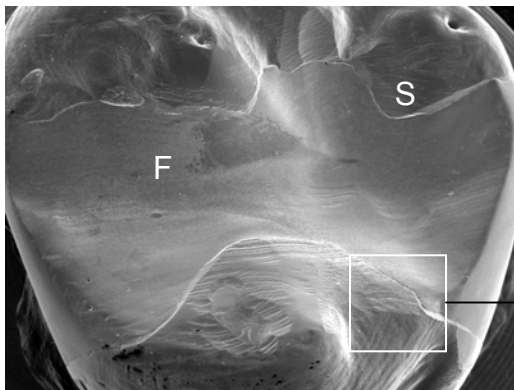
Die rasterelektronenmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 34a – Abb. 40b.



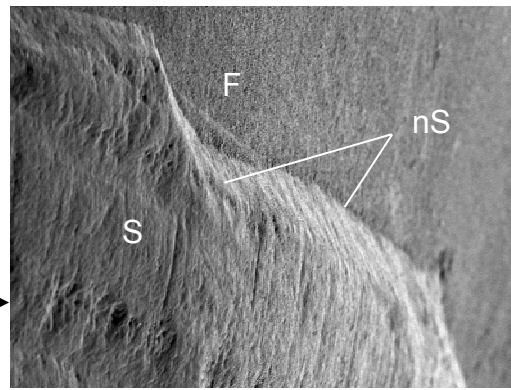
**Abb. 34a:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 37)  
Übersicht-Vergr. (10x)



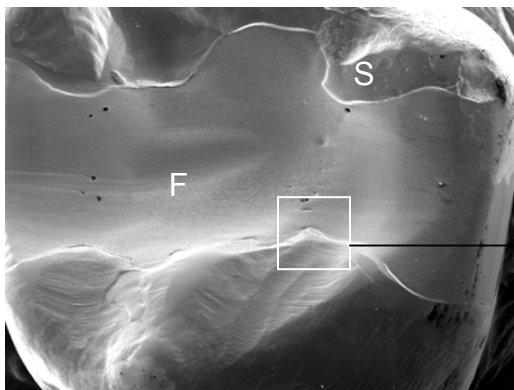
**Abb. 34b:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 37)  
Ausschnitt-Vergr. (1000x)  
Oberflächentextur



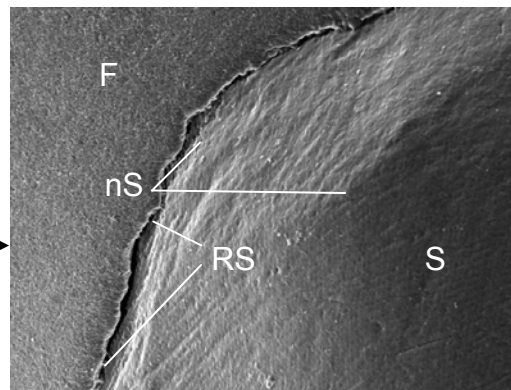
**Abb. 35a:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 07)  
Übersicht-Vergr. (10x)



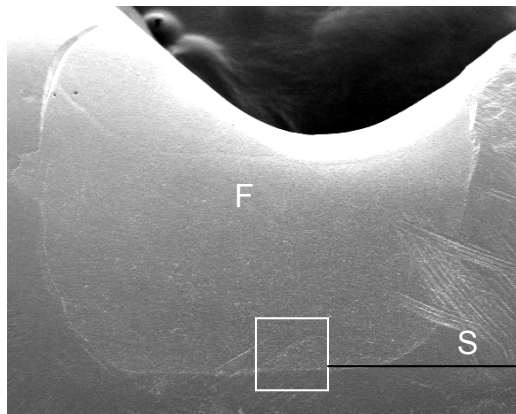
**Abb. 35b:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 07)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
negative Stufe [nS]



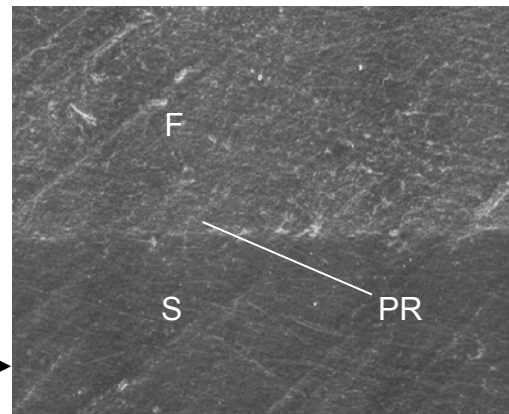
**Abb. 36a:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 15)  
Übersicht-Vergr. (10x)



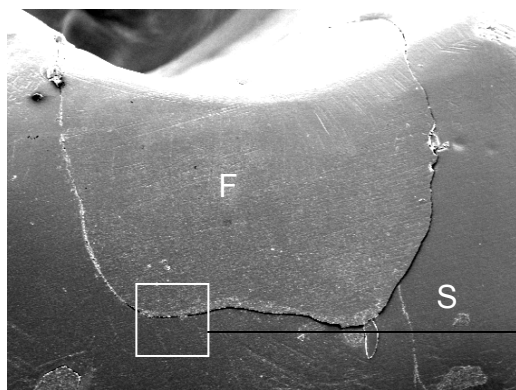
**Abb. 36b:** Dyract® eXtra-Füllung  
okklusal (Probe D 15)  
Ausschnitt-Vergr. (200x)  
Randspalt [RS], negative Stufe [nS]



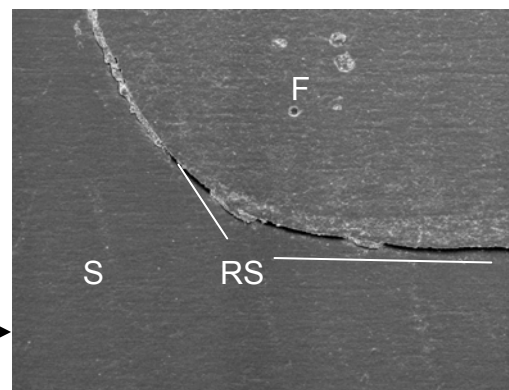
**Abb. 37a:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe D 34)  
Übersicht-Vergr.: 10x)



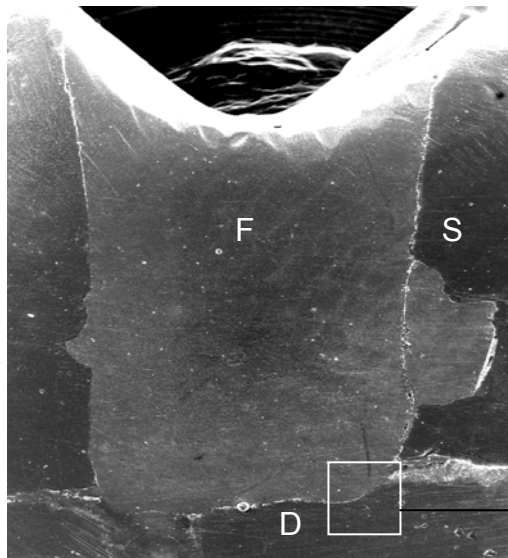
**Abb. 37b:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe D 34)  
Ausschnitt-Vergr.: 200x  
perfekter Rand PR



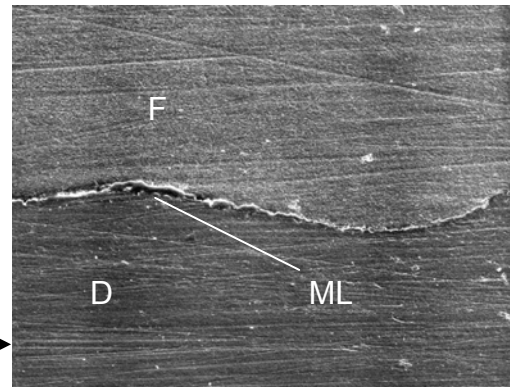
**Abb. 38a:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe D 37)  
Übersicht-Vergr.: 10x)



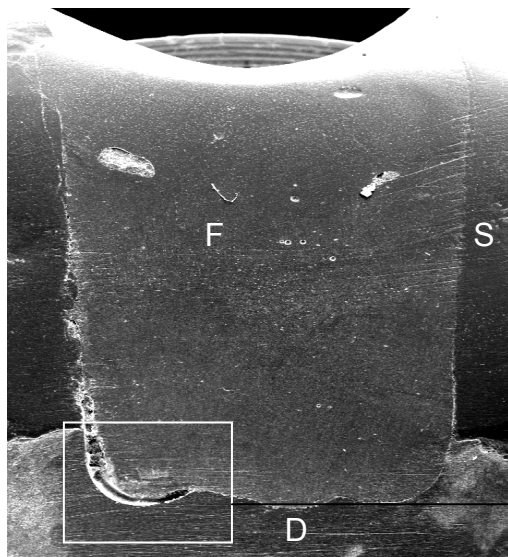
**Abb. 38b:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Schmelz (Probe D 37)  
Ausschnitt-Vergr.: 100x  
Randspalt RS (setzt sich über die  
gesamte approximale Stufe fort, Abb. 39a)



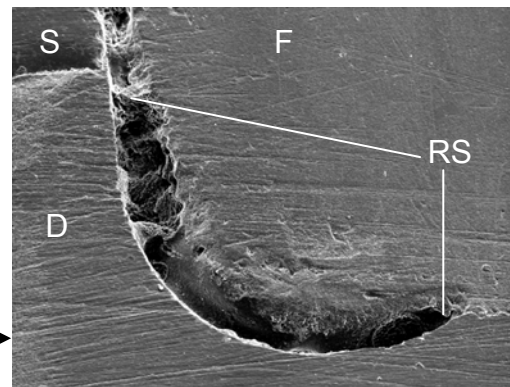
**Abb. 39a:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe D 21)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 39b:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe D 21)  
Ausschnitt-Vergr. (100x)  
vereinzelt Mikroleakage [ML]



**Abb. 40a:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe D 15)  
Übersicht-Vergr. (10x)



**Abb. 40b:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Dentin (Probe D 15)  
Ausschnitt-Vergr. (100x)  
Randspalt [RS]

### 5.3.5 Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse für die einzelnen Füllungsmaterialien

Die Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Kontrolle für die okklusalen Füllungsgrenzbereiche, die approximalen Stufen im Schmelz und die approximalen Stufen im Dentin aller Materialien sind in den Tab. 10, Tab. 11 und Tab. 12 zusammengefasst.

Tab. 10: okklusaler Füllungsbereich

		Oberflächen- rauigkeit	Oberflächen- textur	Randschluss (global)	Füllungs- überschüsse	Randabbrüche	Negative Stufenbildung	Mikroleakage/ Randspalten	Weitere Rand- imperfectionen
<b>Tetric® EvoCeram</b> (n 25)	Code 0	0	0	0	0	25	0	18	24
	Code 1	3	0	0	16	0	1	6	1
	Code 2	18	1	0	9	0	14	0	0
	Code 3	4	24	25	0	0	10	1	0
<b>Grandio®</b> (n 25)	Code 0	3	0	0	1	25	0	5	22
	Code 1	10	18	0	17	0	2	10	3
	Code 2	8	6	2	7	0	10	5	0
	Code 3	4	1	23	0	0	13	5	0
<b>QuixFil®</b> (n 25)	Code 0	3	1	0	0	24	0	0	22
	Code 1	13	20	0	18	1	1	5	3
	Code 2	9	3	0	7	0	15	6	0
	Code 3	0	1	25	0	0	9	14	0
<b>Dyract® eXtra</b> (n 25)	Code 0	0	4	0	1	21	0	3	15
	Code 1	13	16	0	16	4	2	4	10
	Code 2	8	5	1	8	0	9	6	0
	Code 3	4	0	24	0	0	14	12	0
p-Werte		0,005	<0,001	0,286	0,866	0,029	0,635	<0,001	0,004

statistische Signifikanz: Auftreten der Imperfektionen zwischen den Materialien

Die mikromorphologischen Untersuchungen (REM) zum Oberflächenverhalten der einzelnen Materialien zeigten nach Thermocycling und Abrasion keine glatten Füllungsoberflächen, Inhomogenitäten und reguläre/irreguläre Substrukturen prägten anteilig das Bild aller Materialien. Tetric® EvoCeram zeigte dabei das signifikant schlechteste Ergebnis. An den okklusalen Füllungsgrenzbereichen wurden bei allen Materialien negative Stufenbildung und Randspalten als häufigste Imperfektionen registriert. Bei den Randspalten ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Materialien, wobei QuixFil® das schlechteste Resultat zeigte.

Die Darstellung der statistischen Einzelergebnisse befindet sich im Anhang Statistik (Tab. 23 – Tab. 31).

Tab. 11: approximale Stufe im Schmelz

		Randschluss (global)	Füllungs- überschüsse	Randabbrüche	Negative Stufenbildung	Mikroleakage/ Randspalten	Weitere Rand- imperfectionen
<b>Tetric® EvoCeram</b> (n 25)	Code 0	2	21	23	20	2	21
	Code 1	1	3	1	2	5	3
	Code 2	7	1	0	1	6	0
	Code 3	15	0	1	2	12	1
<b>Grandio®</b> (n 25)	Code 0	13	20	25	24	16	25
	Code 1	8	5	0	0	6	0
	Code 2	2	0	0	0	1	0
	Code 3	2	0	0	1	2	0
<b>QuixFil®</b> (n 25)	Code 0	6	20	25	24	7	23
	Code 1	6	3	0	0	5	1
	Code 2	2	1	0	1	3	1
	Code 3	11	1	0	0	10	0
<b>Dyract® eXtra</b> (n 25)	Code 0	5	21	22	24	9	20
	Code 1	13	2	3	1	9	3
	Code 2	5	2	0	0	5	0
	Code 3	2	0	0	0	2	2
p-Werte		<0,001	0,688	0,158	0,362	<0,001	0,263

 statistische Signifikanz: Auftreten der Imperfectionen zwischen den Materialien

An den approximalen Stufen im Schmelz wurden Randspalten am häufigsten dokumentiert, mit statistisch signifikantem Unterschied zwischen den Materialien, wobei Grandio® dabei und bei dem globalen Kriterium Randschluss das beste Ergebnis aufwies.

Die Darstellung der statistischen Einzelergebnisse befindet sich im Anhang Statistik (Tab. 23 – Tab. 31).



Tab. 12: approximale Stufe im Dentin

		Randschluss (global)	Füllungs- überschüsse	Randabbrüche	Negative Stufenbildung	Mikroleakage/ Randspalten	Weitere Rand- imperfectionen
<b>Tetric® EvoCeram</b> (n 25)	Code 0	0	9	24	24	4	25
	Code 1	4	6	1	0	6	0
	Code 2	2	5	0	0	7	0
	Code 3	19	5	0	1	8	0
<b>Grandio®</b> (n 25)	Code 0	0	12	25	24	6	25
	Code 1	4	7	0	0	9	0
	Code 2	8	1	0	0	4	0
	Code 3	13	5	0	1	6	0
<b>QuixFil®</b> (n 25)	Code 0	0	8	24	25	11	25
	Code 1	5	3	0	0	8	0
	Code 2	5	6	1	0	2	0
	Code 3	15	8	0	0	4	0
<b>Dyract® eXtra</b> (n 25)	Code 0	0	14	16	25	8	24
	Code 1	1	6	7	0	7	1
	Code 2	11	1	1	0	7	0
	Code 3	13	4	1	0	3	0
p-Werte		0,085	0,226	0,004	0,564	0,292	0,387

statistische Signifikanz: Auftreten der Imperfektionen zwischen den Materialien

An den approximalen Stufen im Dentin wurden bei allen Materialien Füllungsüberschüsse und Randspalten am häufigsten dokumentiert, ohne statistisch signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Materialien. Nur bezüglich der Randabbrüche zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede. Hier erbrachte Dyract® eXtra das schlechteste Resultat.

Die Darstellung der statistischen Einzelergebnisse befindet sich im Anhang Statistik (Tab. 23 – Tab. 31).

## 5.4 Polarisationsmikroskopie - Ergebnisse

### - Füllungsimperfektionen -

Bei den vier Füllungsmaterialien wurden pro Zahn jeweils zwei approximale Grenzbereiche (approximal Stufe/Schmelz, approximal Stufe/Dentin) unterschieden. Für jeden dieser Grenzbereiche wurden 4–6 Zahnschnitte hergestellt und somit bis 2/3 der jeweiligen approximalen Stufe auswertbar. Daraus resultiert der Nachweis unterschiedlicher Füllungsimperfektionen pro approximaler Stufe.

Die Detailergebnisse werden im Folgenden nach Materialien, Grenzflächenbereich und Imperfektionen geordnet und tabellarisch dargestellt.

#### 5.4.1 Tetric® EvoCeram

Die Detailergebnisse für Tetric® EvoCeram sind in Tab. 13 dargestellt.

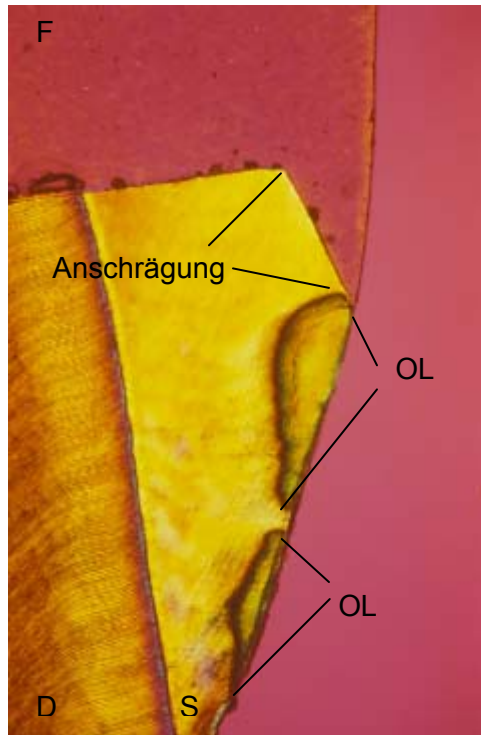
Tab. 13: Auswertung der Füllungsimperfektionen

	approximale Stufe im Schmelz		approximale Stufe im Dentin	
	(n)	(%)	(n)	(%)
Anzahl der Füllungen	25		25	
Anzahl der ausgewerteten Grenzbereiche	25	100	25	100
Füllungsüberschüsse	2	8	13	52
Schmelzrandfrakturen	11	44	–	–
Füllungsrandfrakturen	4	16	1	4
Negative Stufenbildung	0	0	0	0
Randspalten	15	60	25	100
Poren/oberflächliche Materialdefizite	6	24	3	12
„perfekter“ Füllungsrand	3	12	0	0

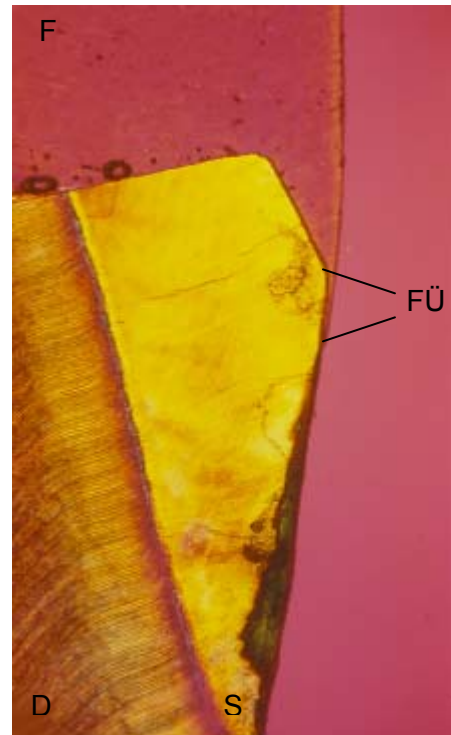
Bei Tetric® EvoCeram wurden an den approximalen Stufen im Schmelz Randspalten am häufigsten nachgewiesen, gefolgt von Schmelzrandfrakturen. An den approximalen Stufen im Dentin wiesen alle Proben Randspalten auf (Abb. 46). Füllungsüberschüsse konnten bei der Hälfte der Proben dokumentiert werden.

Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 41 – Abb. 46.

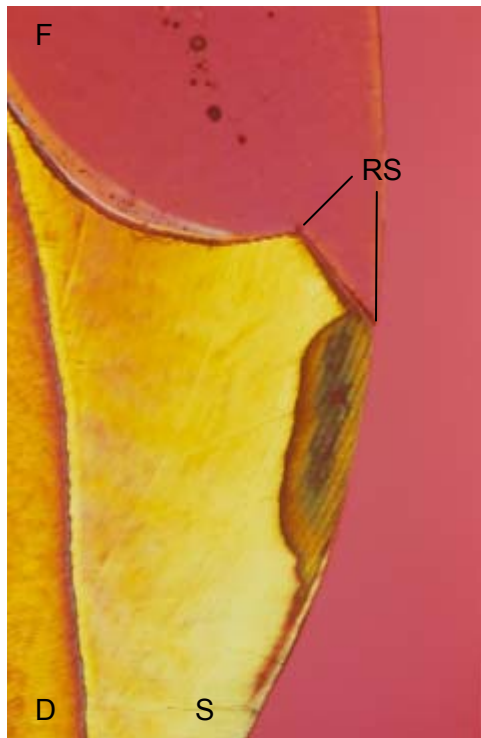
Bei allen Grenzflächenbereichen konnten rein experimentell bedingt Oberflächenläsionen nachgewiesen werden.



**Abb. 41:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe FÜ/S (Probe E 12)  
**perfekter Füllungsrand** mit den obligaten  
Oberflächenläsionen [OL]  
(Org. Vergr. 45x)



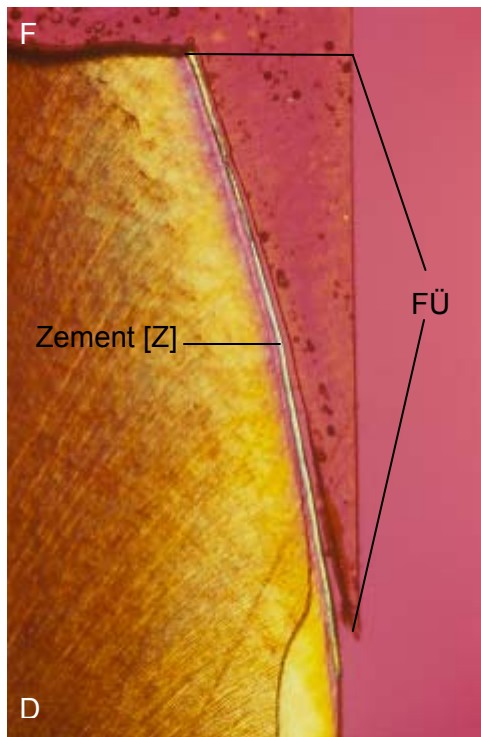
**Abb. 42:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe FÜ/S (Probe E 12)  
**Füllungsüberschuss [FÜ]**  
(Org. Vergr. 45x)



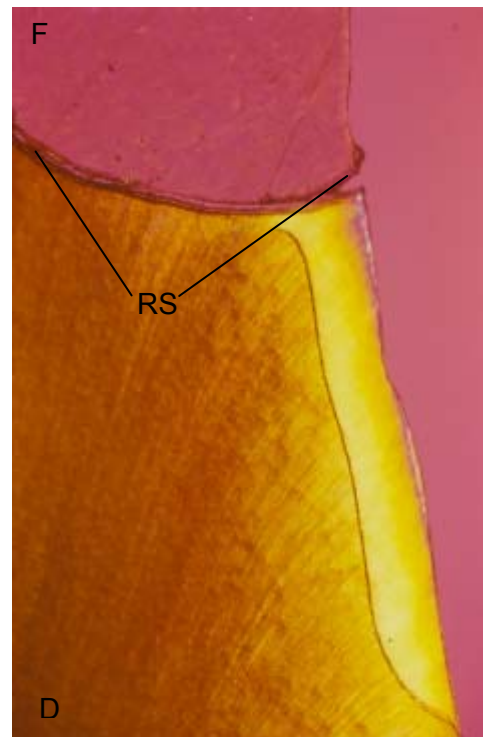
**Abb. 43:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe E 28)  
**Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 44:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe E 35)  
**angeschnittene Pore [P]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 45:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Fü/D (Probe E 22)  
**Füllungsüberschuss [FÜ]** ohne Kontakt zur  
Zahnhartsubstanz  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 46:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe Fü/D (Probe E 26)  
**Randspalt [RS]**, der sich in die Tiefe fortsetzt  
(entlang der Kavitätenwand)  
(Org. Vergr. 45x)

### 5.4.2 Grandio®

Die Detailergebnisse für Grandio® sind in Tab. 14 dargestellt.

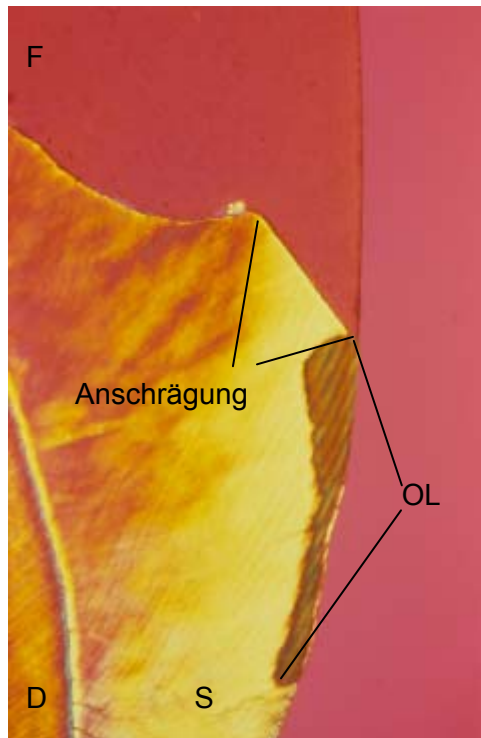
Tab. 14: Auswertung der Füllungsimperfectionen

	approximale Stufe im Schmelz		approximale Stufe im Dentin	
	(n)	(%)	(n)	(%)
Anzahl der Füllungen	25		25	
Anzahl der ausgewerteten Grenzbereiche	25	100	25	100
Füllungsüberschüsse	1	4	14	56
Schmelzrandfrakturen	11	44	–	–
Füllungsrandfrakturen	5	20	6	24
Negative Stufenbildung	0	0	0	0
Randspalten	1	4	18	72
Poren/oberflächliche Materialdefizite	5	20	3	12
„perfekter“ Füllungsrand	7	28	1	4

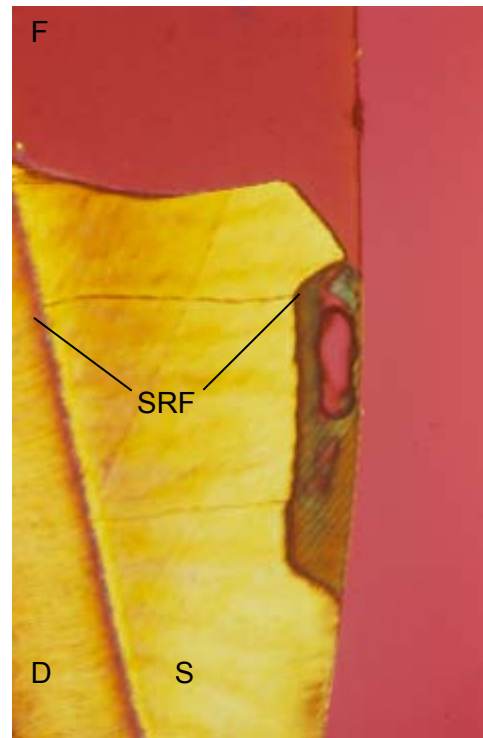
Bei Grandio® traten an den approximalen Stufen im Schmelz am häufigsten Schmelzrandfrakturen auf. An den approximalen Stufen im Dentin waren am häufigsten Randspalten zu finden, gefolgt von Füllungsüberschüssen, teilweise kombiniert mit Füllungsrandfrakturen (Abb. 52).

Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 47 – Abb. 53.

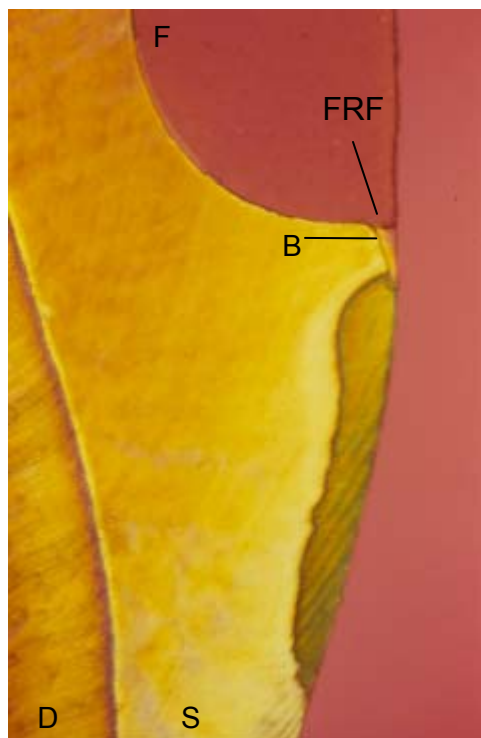
Bei allen Grenzflächenbereichen konnten rein experimentell bedingt Oberflächenläsionen nachgewiesen werden.



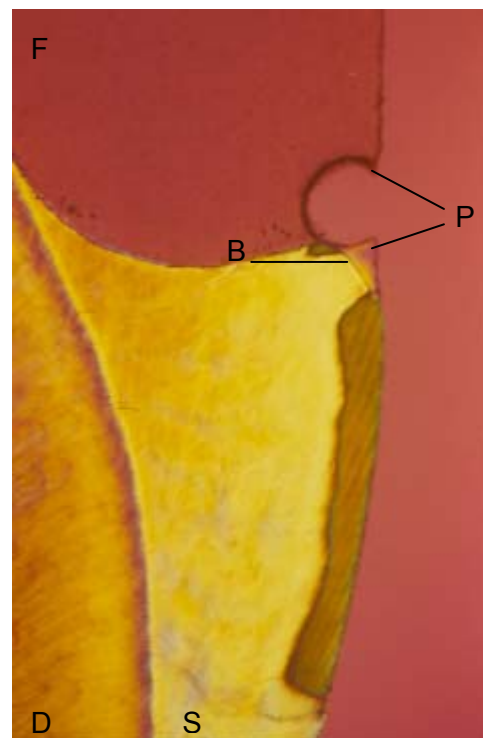
**Abb. 47:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe G 22)  
**perfekter Füllungsrand**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 48:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe G 23)  
**Schmelzrandfraktur [SRF]**  
(Org. Vergr. 45x)

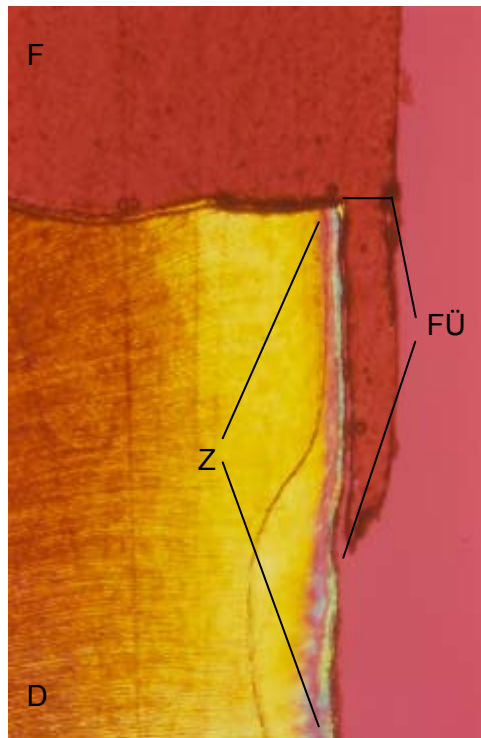


**Abb. 49:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe G 31)  
**Füllungsrandfraktur [FRF] und  
Bonding [B]**  
(Org. Vergr. 45x)

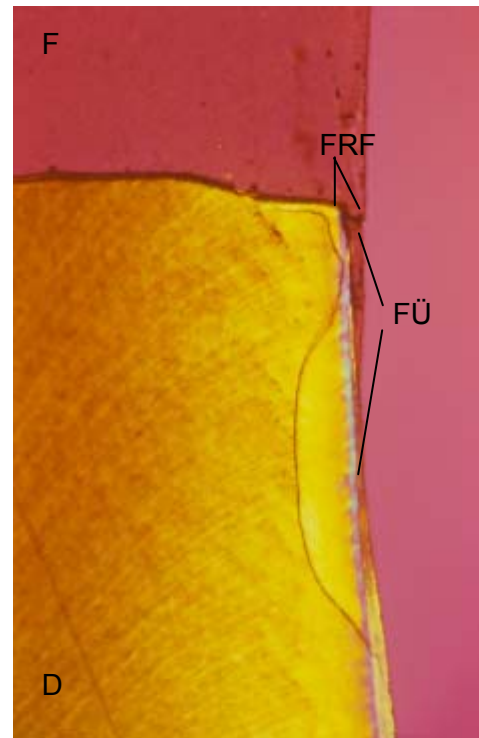


**Abb. 50:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe G 32)  
**angeschnittene Pore [P] und  
Bonding [B]**  
(Org. Vergr. 45x)

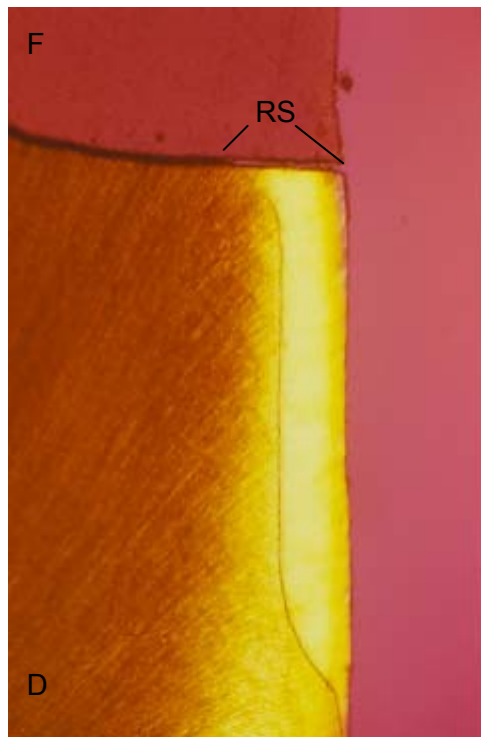




**Abb. 51:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/D (Probe G 22)  
**Füllungsüberschuss [FÜ]** ohne Kontakt zur  
Zahnhartsubstanz; Zement [Z]  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 52:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/D (Probe G 07)  
**Füllungsrandfraktur [FRF]** an  
**Füllungsüberschuss [FÜ]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 53:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe Fü/D (Probe G 10)  
**Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)

### 5.4.3 QuixFil®

Die Detailergebnisse für QuixFil® sind in Tab. 15 dargestellt.

Tab. 15: Auswertung der Füllungsimperfectionen

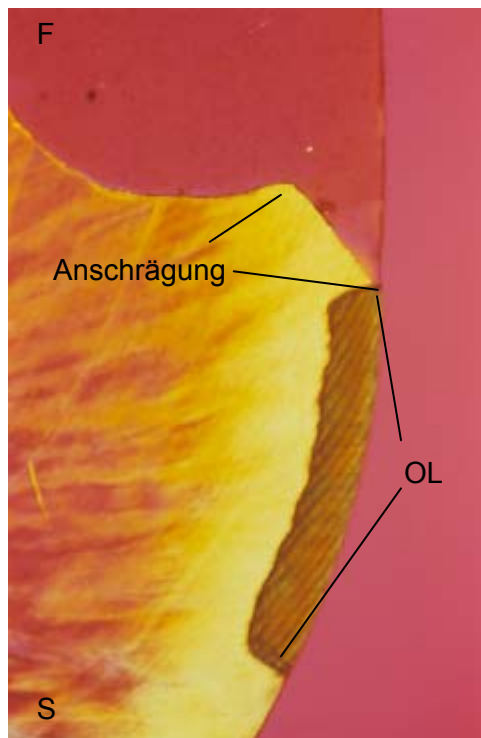
	approximale Stufe im Schmelz		approximale Stufe im Dentin	
	(n)	(%)	(n)	(%)
Anzahl der Füllungen	25		25	
Anzahl der ausgewerteten Grenzbereiche	25	100	25	100
Füllungsüberschüsse	3	12	14	56
Schmelzrandfrakturen	14	56	–	–
Füllungsrandfrakturen	5	20	9	36
Negative Stufenbildung	0	0	0	0
Randspalten	9	36	13	52
Poren/oberflächliche Materialdefizite	5	20	4	16
„perfekter“ Füllungsrand	3	12	0	0

QuixFil® zeigte an den approximalen Stufen im Schmelz am häufigsten Schmelzrandfrakturen, gefolgt von Randspalten. An den approximalen Stufen im Dentin wurden am häufigsten Füllungsüberschüsse dokumentiert, teilweise mit Füllungsrandfrakturen kombiniert (Abb. 58). Ebenso zeigten sich vermehrt Randspalten.

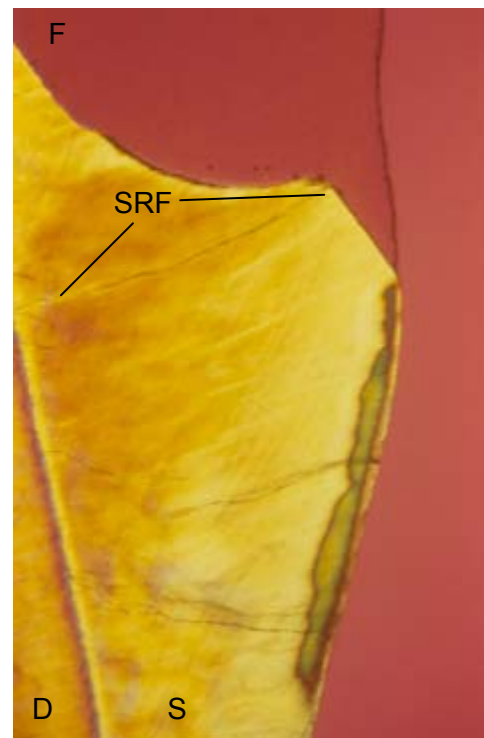
Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 54 – Abb. 59.

Bei allen Grenzflächenbereichen konnten rein experimentell bedingt Oberflächenläsionen nachgewiesen werden.

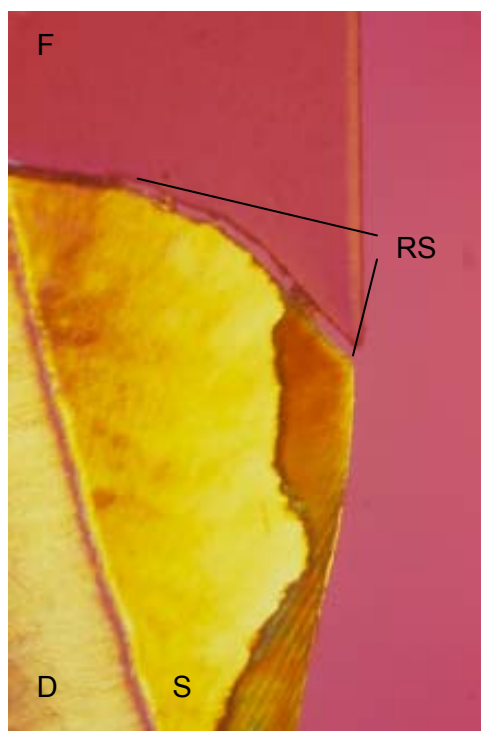




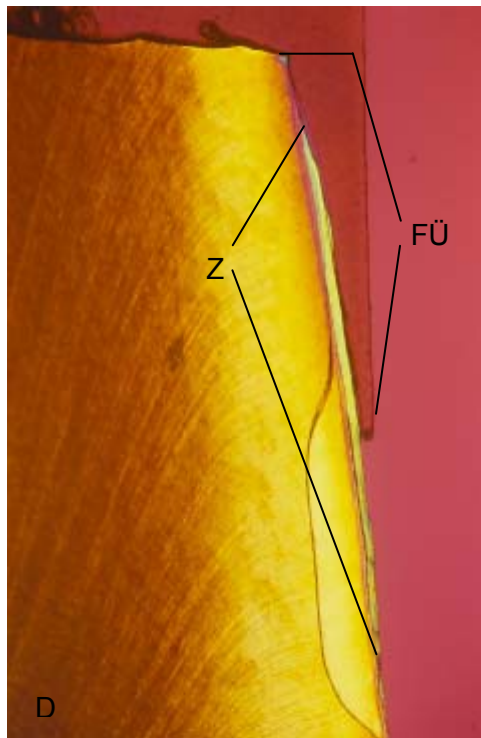
**Abb. 54:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe X 19)  
**perfekter Füllungsrand**  
(Org. Vergr. 45x)



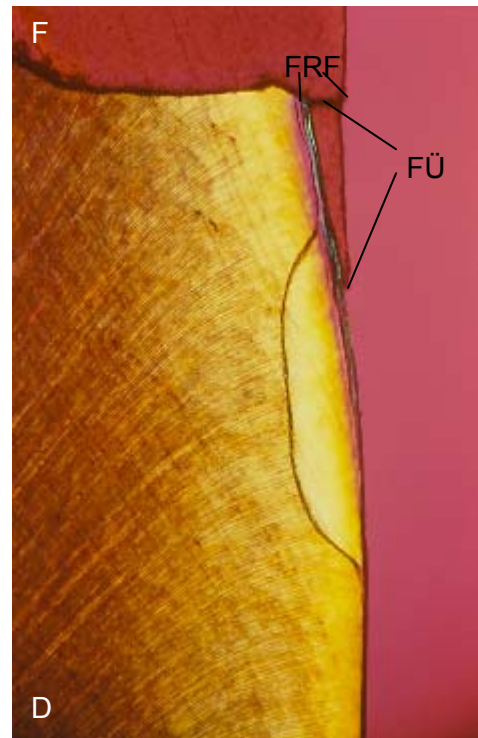
**Abb. 55:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe X 28)  
**Schmelzrandfraktur [SRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



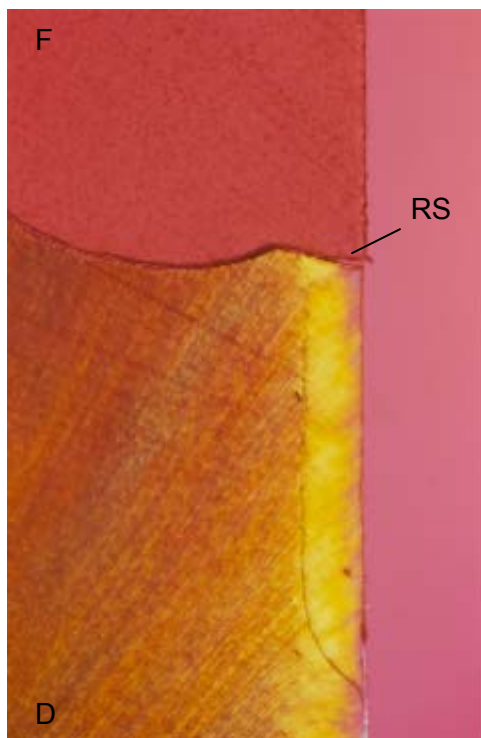
**Abb. 56:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe X 14)  
**Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 57:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe X 08)  
**Füllungsüberschuss [FÜ]; Zement [Z]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 58:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe X 10)  
**Füllungsüberschuss [FÜ];  
Füllungsrandfraktur [FRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 59:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe X 24)  
**Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)

#### 5.4.4 Dyract® eXtra

Die Detailergebnisse für Dyract® eXtra sind in Tab. 16 dargestellt.

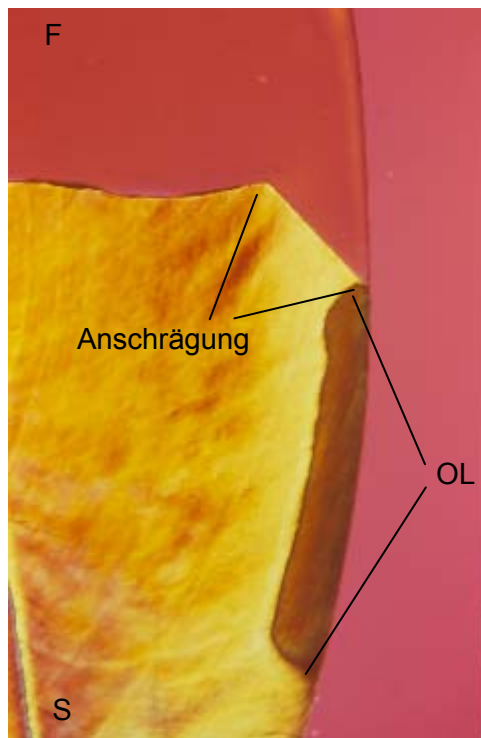
Tab. 16: Auswertung der Füllungsimperfectionen

	approximale Stufe im Schmelz		approximale Stufe im Dentin	
	(n)	(%)	(n)	(%)
Anzahl der Füllungen	25		25	
Anzahl der ausgewerteten Grenzbereiche	25	100	25	100
Füllungsüberschüsse	2	8	9	36
Schmelzrandfrakturen	7	28	–	–
Füllungsrandfrakturen	8	32	3	12
Negative Stufenbildung	0	0	0	0
Randspalten	7	28	18	72
Poren/oberflächliche Materialdefizite	3	12	11	44
„perfekter“ Füllungsrand	2	8	0	0

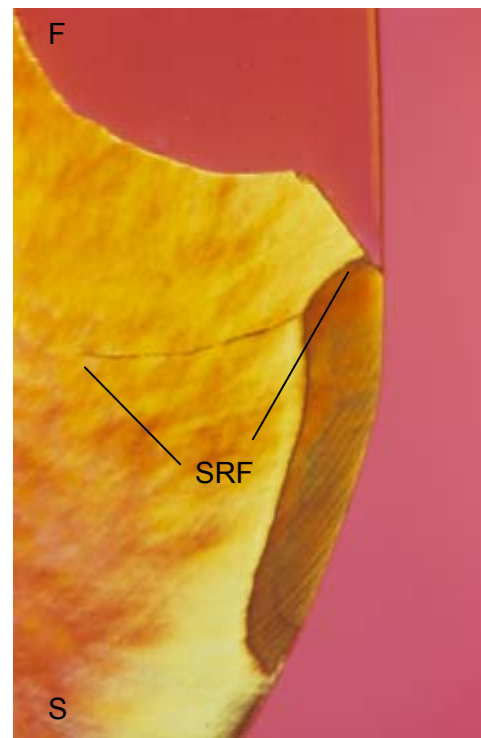
Bei Dyract® eXtra waren an den approximalen Stufen im Schmelz Füllungsrandfrakturen (Abb. 62), Randspalten und Schmelzrandfrakturen die häufigsten Imperfectionen. An den approximalen Stufen im Dentin waren Randspalten am häufigsten, gefolgt von Poren/oberflächlichen Materialdefiziten und Füllungsüberschüssen zu finden.

Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 60 – Abb. 65.

Bei allen Grenzflächenbereichen konnten rein experimentell bedingt Oberflächenläsionen nachgewiesen werden.



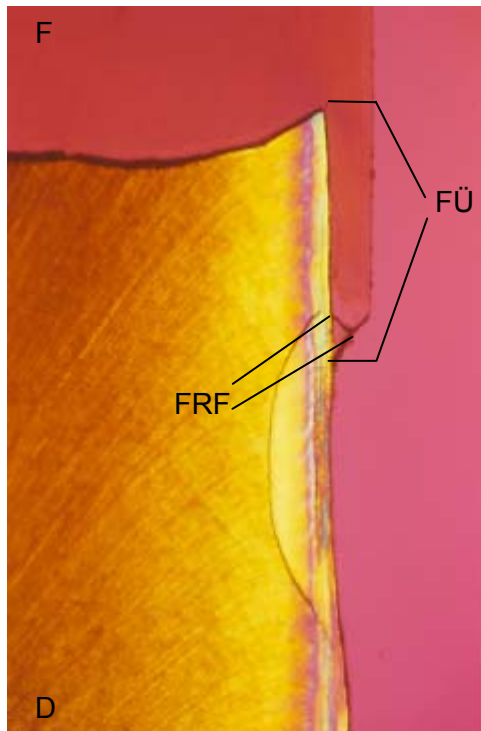
**Abb. 60:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe D 22)  
**perfekter Füllungsrand**  
(Org. Vergr. 45x)



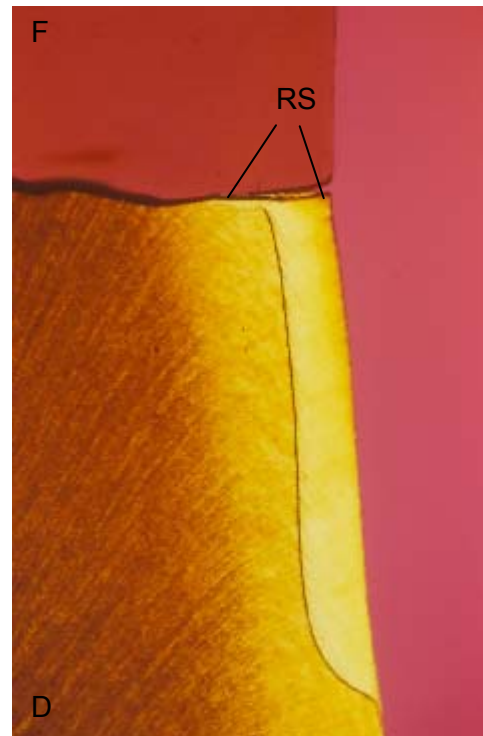
**Abb. 61:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe D 17)  
**Schmelzrandfraktur [SRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



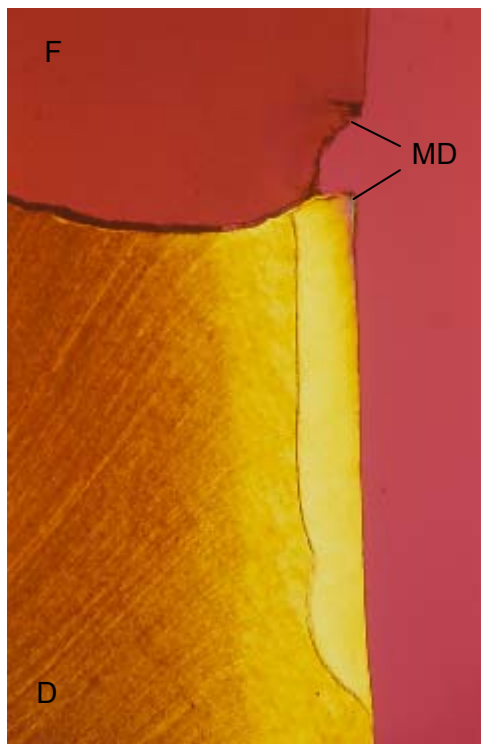
**Abb. 62:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe Fü/S (Probe D 31)  
**Füllungsrandfraktur [FRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 63:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe D 22)  
**Füllungsüberschuss [FÜ]** und  
**Füllungsrandfraktur [FRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 64:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe D 07)  
**Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 65:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe D 11)  
**Materialdefizit [MD]**  
(Org. Vergr. 45x)

**Vergleich der beiden Untersuchungsmethoden REM und POLMI**

Füllungsrandfrakturen konnten vor allem bei der POLMI-Untersuchung dokumentiert werden. Die Kombination von Füllungsüberschüssen mit Füllungsrandfrakturen wurde ausschließlich im Polarisationsmikroskop deutlich, ebenso wie Schmelzrandfrakturen. Negative Stufenbildungen konnten ausschließlich im REM beobachtet werden. Randspalten wurden im REM geringfügig häufiger festgestellt. Poren/oberflächliche Materialdefizite zeigten sich dagegen deutlich häufiger im POLMI.

## 5.5 Polarisationsmikroskopie - Ergebnisse

### - Kariöse Läsionen - („caries like lesion“)

Bei allen Grenzflächenbereichen (approximale Stufen/Schmelz und approximale Stufen/Dentin) konnten rein experimentell bedingt Oberflächenläsionen nachgewiesen werden. Häufig wurden zusätzlich die kariesätiologisch wichtigen Wandläsionen (zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz) beobachtet. Oberflächenläsionen gingen häufig in Wandläsionen über.

Die Erfassung der Wandläsionen und ihr Bezug zu den einzelnen Füllungsimperfectionen werden in diesem Abschnitt besonders berücksichtigt.

#### 5.5.1 Tetric® EvoCeram

Tab. 17: Korrelation von Füllungsimperfectionen und Wandläsionen

	approximale Stufe Fü/S		approximale Stufe Fü/D	
	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)
Füllungsüberschüsse	2	0	13	13
Schmelzrandfrakturen	11	0	–	–
Füllungsrandfrakturen	4	0	1	0
Randspalten	15	13	25	14
Poren/oberflächliche Materialdefizite	6	6	3	2

 statistische Signifikanz Imperfektion und Wandläsion

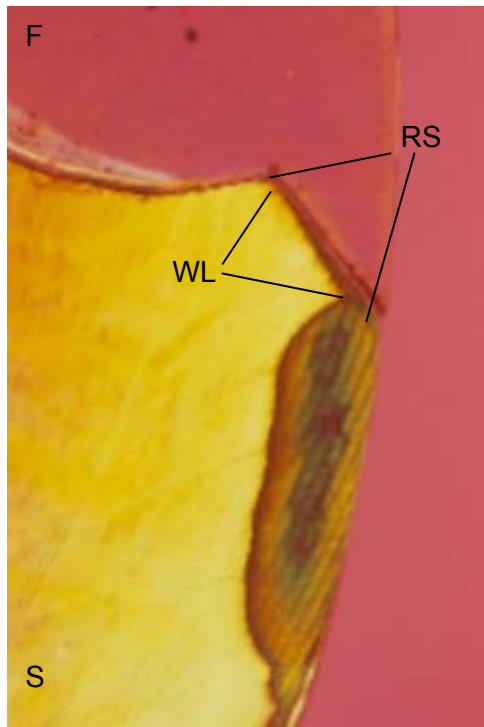
An den approximalen Stufen im Schmelz wurden **Wandläsionen** am häufigsten an Randspalten festgestellt. An Poren/oberflächlichen Materialdefiziten konnten in jedem Fall Wandläsionen nachgewiesen werden.

An den approximalen Stufen im Dentin entwickelten sich an allen vorhandenen Füllungsüberschüssen nach experimenteller Kariesauslösung Wandläsionen. An den dokumentierten Randspalten traten in über der Hälfte Wandläsionen auf. Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Läsionen an den genannten Imperfektionen stellte sich als statistisch signifikant dar.

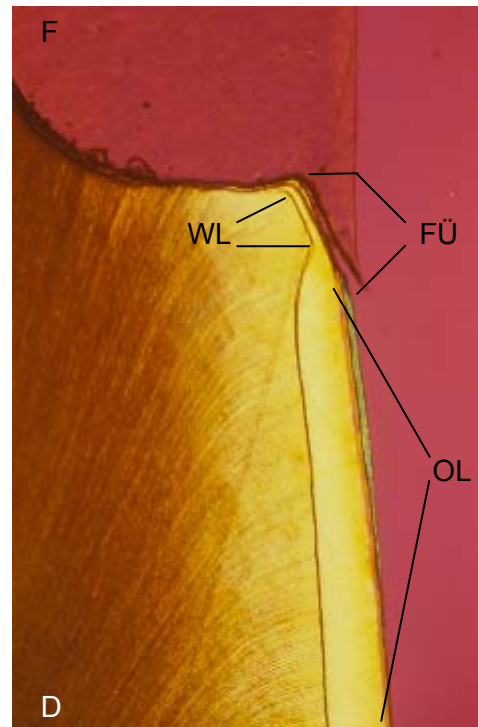
Die statistischen Einzelergebnisse befinden sich im Anhang Statistik (Tab. 32).

Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 67 – Abb. 66.

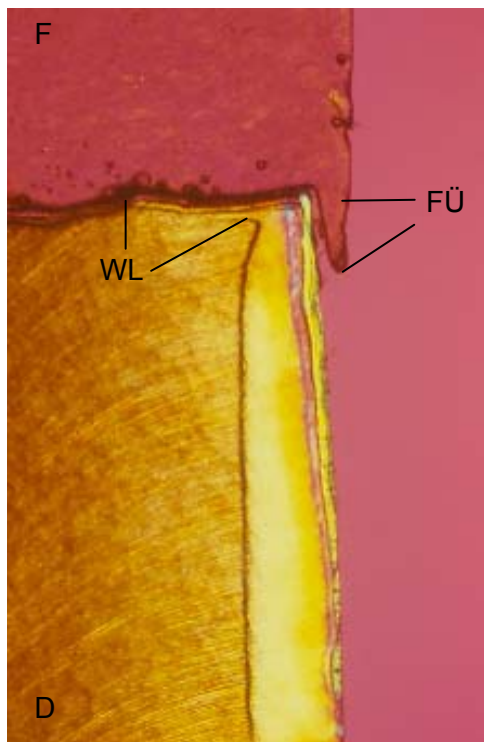




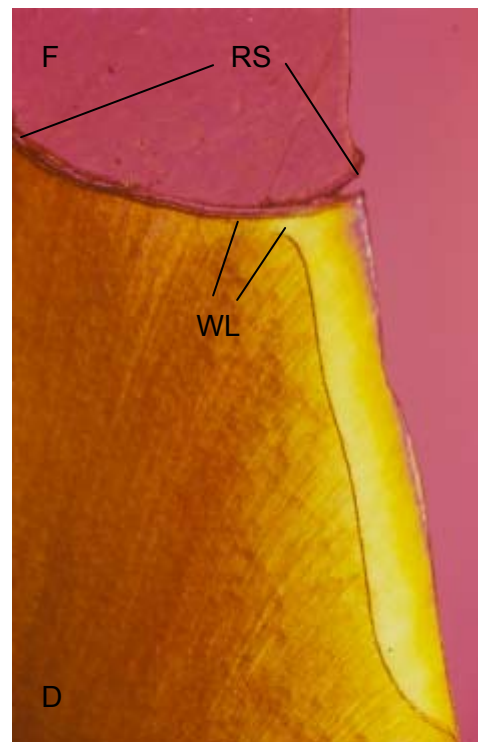
**Abb. 66:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe FÜ/S(Probe E 28)  
**Wandläsion [WL] an Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 75x)



**Abb. 67:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe E 19)  
**Wandläsion [WL] unter Füllungsüberschuss [FÜ]** ohne Kontakt zur Zahnhartsubstanz  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 68:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe E 23)  
**Wandläsion [WL] unter Füllungsüberschuss [FÜ]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 69:** Tetric® EvoCeram-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D(Probe E 26)  
**Wandläsion [WL] an Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)



### 5.5.2 Grandio®

Tab. 18: Korrelation von Füllungsimperfectionen und Wandläsionen

	approximale Stufe Fü/S		approximale Stufe Fü/D	
	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)
Füllungsüberschüsse	1	0	14	9
Schmelzrandfrakturen	11	0	–	–
Füllungsrandfrakturen	5	0	6	1
Randspalten	1	1	18	15
Poren/oberflächliche Materialdefizite	5	4	3	2

 statistische Signifikanz Imperfektion und Wandläsion

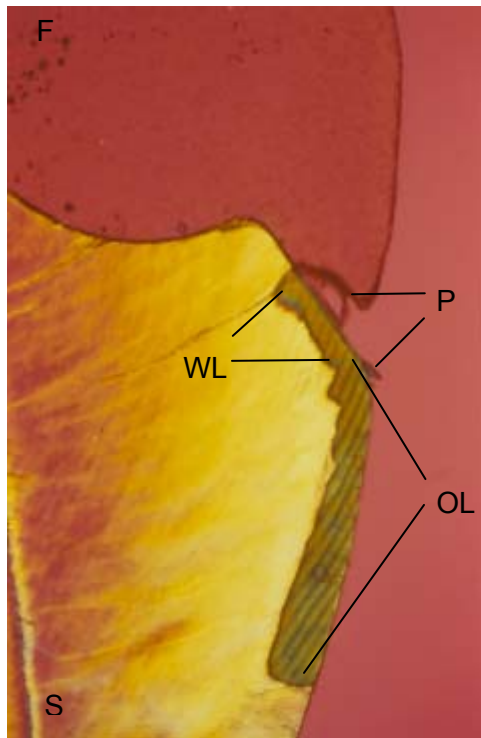
An den approximalen Stufen im Schmelz fanden sich **Wandläsionen** an den dokumentierten Poren/oberflächlichen Materialdefiziten und Randspalten.

An den approximalen Stufen im Dentin zeigten sich Wandläsionen bei mehr als 2/3 der häufig dokumentierten Randspalten. An über der Hälfte der Füllungsüberschüsse traten ebenfalls Wandläsionen auf.

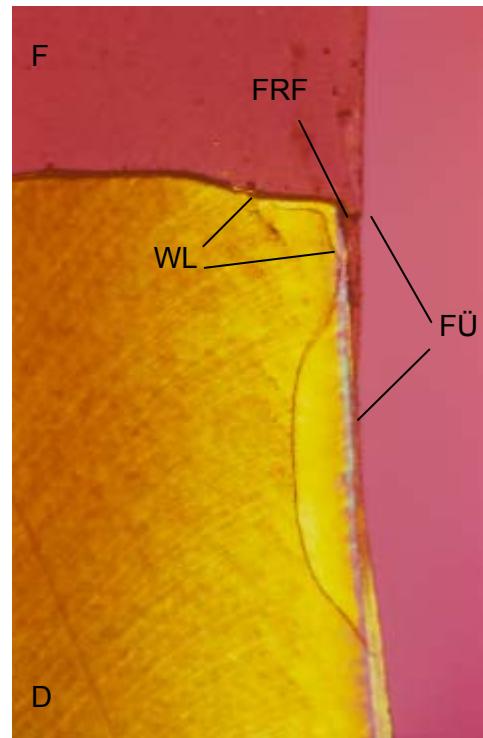
Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Läsionen an den genannten Imperfektionen stellte sich als statistisch signifikant dar.

Die statistischen Einzelergebnisse befinden sich im Anhang Statistik (Tab. 33).

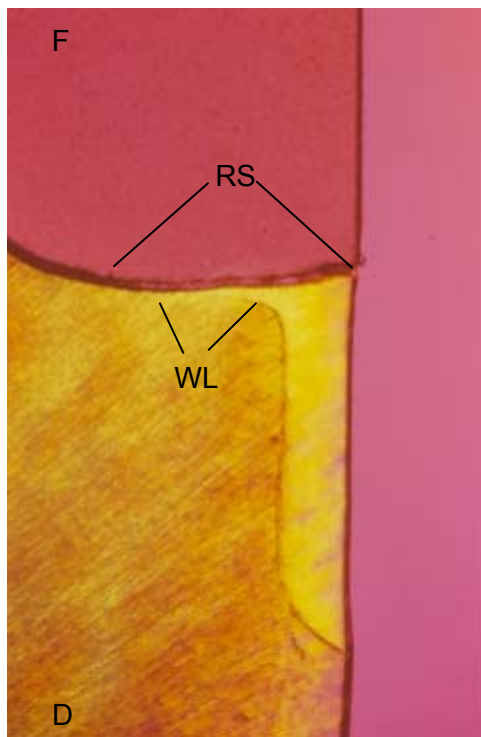
Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 70 – Abb. 72.



**Abb. 70:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/S (Probe G 30)  
**Wandläsion [WL]** in Fortsetzung der  
Oberflächenläsion [OL] an einer  
**Pore/Materialdefizit [P]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 71:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe G 07)  
**Wandläsion [WL]** unter **Füllungsüberschuss [FÜ]**  
und **Füllungsrandfraktur [FRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 72:** Grandio®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe G 15)  
**Wandläsion [WL]** an **Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)

### 5.5.3 QuixFil®

Tab. 19: Korrelation von Füllungsimperfektionen und Wandläsionen

	approximale Stufe FÜ/S		approximale Stufe FÜ/D	
	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)
Füllungsüberschüsse	3	1	14	12
Schmelzrandfrakturen	14	0	–	–
Füllungsrandfrakturen	5	2	9	2
Randspalten	9	6	13	6
Poren/oberflächliche Materialdefizite	5	3	4	1

 statistische Signifikanz Imperfektion und Wandläsion

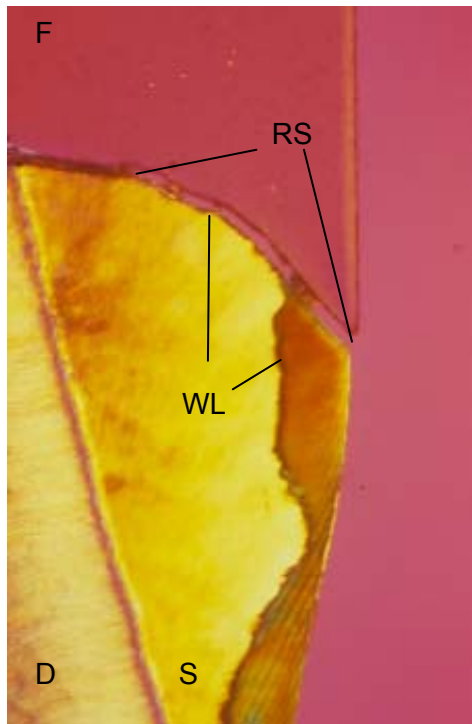
An den approximalen Stufen im Schmelz wurden **Wandläsionen** am häufigsten an Randspalten festgestellt. Poren/oberflächliche Materialdefizite, Füllungsüberschüsse und Füllungsrandfrakturen ließen anteilig Wandläsionen erkennen.

An den approximalen Stufen im Dentin traten Wandläsionen vor allem bei Füllungsüberschüssen, aber auch bei den überwiegend dokumentierten Randspalten auf.

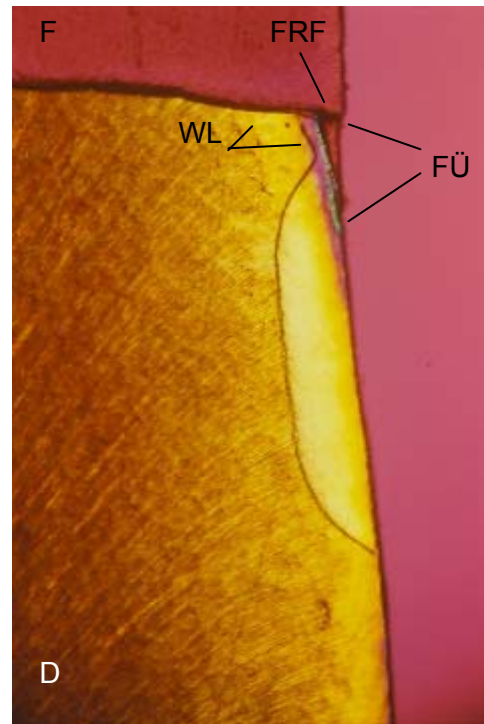
Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Läsionen an den genannten Imperfektionen stellte sich als statistisch signifikant dar.

Die statistischen Einzelergebnisse befinden sich im Anhang Statistik (Tab. 34).

Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 73 – Abb. 74.



**Abb. 73:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/S (Probe X 14)  
**Wandläsion [WL]** an Randspalt [RS]  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 74:** QuixFil®-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe X 10)  
**Wandläsion [WL]** unter **Füllungsüberschuss [FÜ]** und **Füllungsrandfraktur [FRF]**  
(Org. Vergr. 45x)

### 5.5.4 Dyract® eXtra

Tab. 20: Korrelation von Füllungsimperfectionen und Wandläsionen

	approximale Stufe Fü/S		approximale Stufe Fü/D	
	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)	Imperfektionen (n)	Wandläsionen (n)
Füllungsüberschüsse	2	2	9	7
Schmelzrandfrakturen	7	0	–	–
Füllungsrandfrakturen	8	1	3	1
Randspalten	7	3	18	3
Poren/oberflächliche Materialdefizite	3	2	11	6

 statistische Signifikanz Imperfektion und Wandläsion

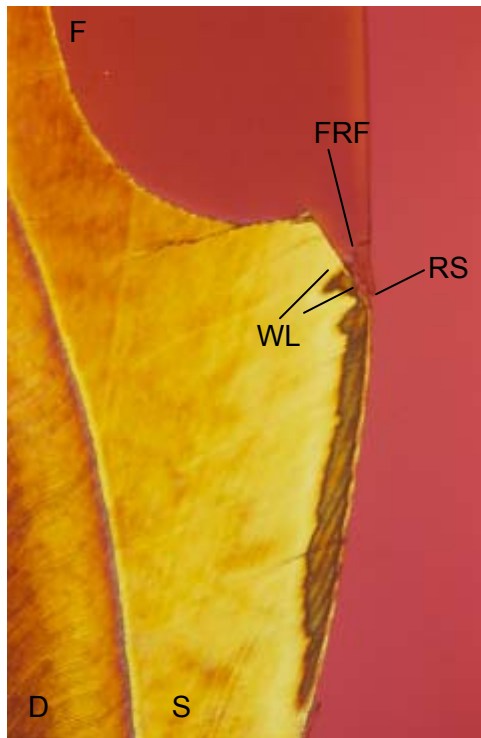
An den approximalen Stufen im Schmelz wurden **Wandläsionen** an Randspalten, Füllungsüberschüssen, Poren/oberflächlichen Materialdefiziten dokumentiert.

An den approximalen Stufen im Dentin zeigten sich Wandläsionen überwiegend bei Füllungsüberschüssen und Poren/oberflächlichen Materialdefiziten.

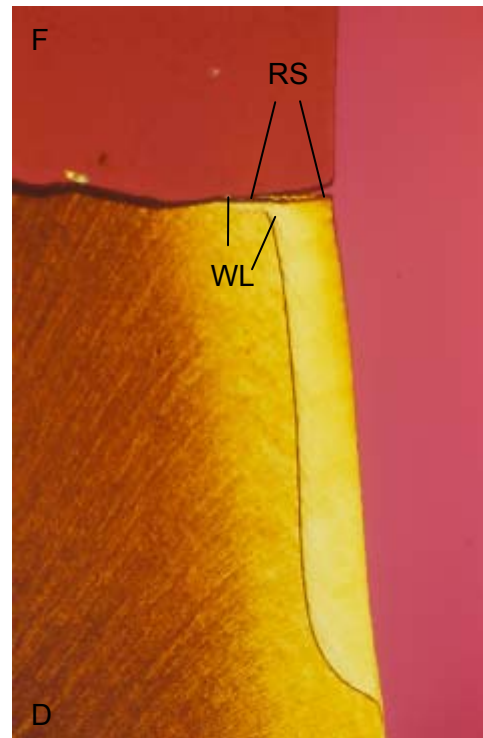
Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Läsionen an den genannten Imperfektionen stellte sich als statistisch signifikant dar.

Die statistischen Einzelergebnisse befinden sich im Anhang Statistik (Tab. 35).

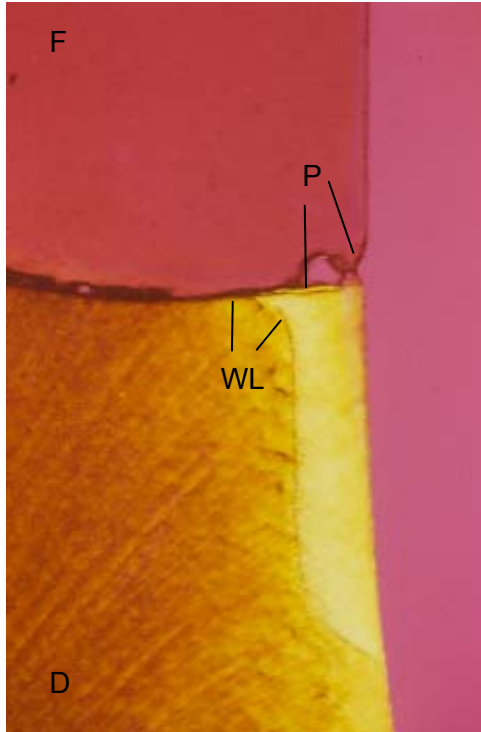
Die polarisationsmikroskopische Bilddokumentation zeigt Abb. 75 – Abb. 77.



**Abb. 75:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe FÜ/S (Probe D 15)  
**Wandläsion [WL] an Randspalt [RS];**  
**Füllungsrandfraktur [FRF]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 76:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe D 07)  
**Wandläsion [WL] an Randspalt [RS]**  
(Org. Vergr. 45x)



**Abb. 77:** Dyract® eXtra-Füllung  
approx. Stufe FÜ/D (Probe D 28)  
**Wandläsion [WL] an einer Pore/ober-**  
**flächlichem Materialdefizit [P]**  
(Org. Vergr. 45x)

### 5.5.5 Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse für die einzelnen Füllungsmaterialien

Die Ergebnisse der polarisationsmikroskopisch registrierten Imperfektionen an den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin und der korrelierenden Wandläsionen sind in Tab. 21 und Tab. 22 für alle vier Materialien zusammengefasst.

Tab. 21: Korrelation von Randimperfektionen und Wandläsionen im approximalen Füllungsgrenzbereich Schmelz

		Füllungsüber- schüsse	Schmelzrand- frakturen	Füllungsrand- frakturen	Randspalten	Poren/ Materialdefizite
Tetric® EvoCeram	Imperfektionen	2	11	4	15	6
	Wandläsionen	0	0	0	13	6
Grandio®	Imperfektionen	1	11	5	1	5
	Wandläsionen	0	0	0	1	4
QuixFil®	Imperfektionen	3	14	5	9	5
	Wandläsionen	1	0	2	6	3
Dyract® eXtra	Imperfektionen	2	7	8	7	3
	Wandläsionen	2	0	1	3	2

An den approximalen Stufen im Schmelz zeigten die mikromorphologischen Untersuchungen (POLMI), dass an vorhandenen Randspalten und Poren/oberflächlichen Materialdefiziten bei allen Materialien am häufigsten Wandläsionen ausgelöst wurden.

Tab. 22: Korrelation von Randimperfectionen und Wandläsionen im approximalen Füllungsgrenzbereich Dentin

		Füllungsüber- schüsse	Füllungsrand- frakturen	Randspalten	Poren/ Materialdefizite
Tetric® EvoCeram	Imperfektionen	13	1	25	3
	Wandläsionen	13	0	14	2
Grandio®	Imperfektionen	14	6	18	3
	Wandläsionen	9	1	15	2
QuixFil®	Imperfektionen	14	9	13	4
	Wandläsionen	12	2	6	1
Dyract® eXtra	Imperfektionen	9	3	18	11
	Wandläsionen	7	1	3	6

An den approximalen Stufen im Dentin zeigte sich, dass an Füllungsüberschüssen, Randspalten und Poren/oberflächlichen Materialdefiziten am häufigsten experimentelle Wandläsionen zu registrieren waren.



## 6 Diskussion

### 6.1 Diskussion der Methode

Als Zahnproben kamen in der vorliegenden Arbeit extrahierte Molaren zur Anwendung. Die Proben wurden in der Zeit zwischen Extraktion und Versuchsbeginn (maximal  $\frac{1}{2}$  Jahr) in 0,1 % Thymollösung aufbewahrt, um Veränderungen der Zahnhartsubstanzen auszuschließen (Haller 1992, Hilton 2002).

Zur Annäherung an die klinische Situation wurden vor der Kavitätenpräparation und Füllungsanlage Modelle mit jeweils drei in Kontakt stehenden Molaren angefertigt, wobei die zu füllende Zahnprobe zu beiden approximalen Flächen je einen Nachbarzahn besaß.

Die okklusalen Kavitätenränder wurden nicht angeschrägt, sondern nur leicht „gebrochen“, da dünn auslaufende Kompositränder an einer Anschrägung im okklusalen Grenzbereich unter der Kaubelastung leicht frakturieren können (Schmeiser und Hannig 1999). Die approximalen Stufen im Schmelz wurden dagegen angeschrägt, um die mikromechanische Verankerung bei der Adhäsivtechnik zu erhöhen und einen optimalen Schmelz/Komposit-Verbund zu ermöglichen (Hugo et al. 1995, 1999, Hilton und Ferracane 1999, Manhart 2001).

Die Notwendigkeit einer Unterfüllung wird schon seit Längerem kontrovers diskutiert. Einerseits wird der Dentinhaftung und der Versiegelung der Dentintubuli durch das Bonding die größere Bedeutung beigemessen, andererseits reduziert die Anlage der klassischen Unterfüllung, die als Dentinersatz anzusehen ist, die Menge an schrumpfender Kompositmasse und ist nach wie vor Pulpaschutz. Es konnte hinsichtlich der Grenzflächensicherheit bei totaler Bonding-Technik bzw. der Anwendung einer Glasionomermasse-Unterfüllung kein signifikanter Unterschied gefunden werden (Hickel et al. 1994, Haller 1994, Dietrich et al. 1999). In der vorliegenden Studie wurde auf eine Unterfüllung aus experimenteller Sicht verzichtet, um die Stabilität der Füllung nicht zu gefährden und um eine mögliche Fluoridfreisetzung und deren möglichen Einfluss auf die experimentelle Demineralisation auszuschließen (Glockmann et al. 1997, Forsten 1998, Steidl 2001, Lohbauer et al. 2009).

Für die Untersuchung wurden vier different formulierte zahnfarbene, plastische Füllungsmaterialien speziell ausgewählt, die nach Angaben der Hersteller zur definitiven Versorgung permanenter Zähne im Seitenzahnbereich geeignet sind.

Tetric® EvoCeram wurde ausgewählt, weil es als Weiterentwicklung des klinisch gut etablierten Hybrid-Komposites Tetric® Ceram gilt. Tetric® EvoCeram zeigte in ersten experimentellen Untersuchungen im Vergleich zu Tetric® Ceram die niedrigere Volumenschrumpfung und vor allem eine reduzierte Polymerisations-schrumpfungskraft (Schattenberg et al. 2007).

Grandio® wurde als eines der Ersten auf dem Markt befindlichen Nano-Hybrid-Komposite in die Studie aufgenommen, da es nach Herstellerangaben eine verbesserte Füllertechnologie und eine gesteigerte Abrasionsresistenz gegenüber anderen Füllungskompositen zeigen soll (Danebrock 2004).

QuixFil® wird als Komposit speziell für den Seitenzahnbereich angeboten. Dieses als Amalgamalternative auf den Markt gebrachte Hybrid-Komposit wurde ausgewählt, da es nach Herstellerangaben im Vergleich zu anderen Hybrid-Kompositen eine einfachere Verarbeitung (größere Inkremente/Bulk-Fill-Technik) durch die größere Aushärtungstiefe aufgrund der höheren Transluzenz ermöglicht. Außerdem ist QuixFil® durch die Erhöhung des Füllergehaltes schrumpfreduziert (Soltész et al. 2004, Schäffer 2006).

Dyract® eXtra ein Kompomer der dritten Generation, das Nachfolgeprodukt von Dyract® AP. Dyract® eXtra ist das erste und einzige Kompomer, dass vom Hersteller zur definitiven Versorgung permanenter Zähne im Seitenzahnbereich empfohlen wird. In einer Untersuchung von Lennon et al. (2007) konnte außerdem ein statistisch signifikanter kariesprotektiver Effekt für Dyract® eXtra nachgewiesen werden.

Es kamen die vom Hersteller empfohlenen Adhäsivsysteme zur Anwendung, um den Ergebnisvergleich zu optimieren.

Zur Politur wurden okklusal flexible Polierscheiben (Super Snap® Rainbow Technique KIT, Schofu Dental GmbH, Ratingen/Deutschland) verwendet. Rzanny et al. (2003) untersuchten in ihrer In-vitro-Studie die Oberflächenqualität unterschiedlicher Füllungswerkstoffe nach Politur mit sechs verschiedenen Poliersystemen, u. a. Super-Snap-Scheiben. Es zeigte sich, dass für Füllungskomposite unterschiedlicher Indikation Super-Snap-Scheiben uneingeschränkt zu

empfehlen sind. Zur Nachbearbeitung der approximalen Flächen wurden Finierstreifen benutzt, um Materialüberschüsse zu entfernen, was in unserer Studie besonders an den approximalen Stufen im Dentin nur anteilig gelang. Die Nachbearbeitung approximaler Füllungsanteile unterhalb der Kontaktfläche stellt besonders in der Klinik nach wie vor ein Problem dar.

Nach der Füllungsanlage wurden die Zahnproben für vier Wochen in bidestilliertem Wasser gelagert, während dieses Zeitraumes wurde das Thermocycling durchgeführt. Durch Wasseraufnahme kann es zu einer Expansion der Bondingschicht und/oder des Komposites kommen (Haller et al. 1993, Manhart et al. 1999, Göhring et al. 2005). Dies kann im Füllungsgrenzbereich zu Deteriorationen führen und somit die Entstehung sekundärer Randkaries begünstigen (Hannig und Bott 2000, Manhart et al. 2001).

Die zusätzlichen Temperaturschwankungen durch das Thermocycling, denen die Proben ausgesetzt wurden, sind denen in der Mundhöhle vergleichbar. Wie in ähnlicher Weise von Scott et al. (1992) und Glockner et al. (1998a, b) empfohlen, wurden in der vorliegenden Studie 1200 Zyklen im Temperaturbereich zwischen 20 und 65°C durchgeführt. Nach Krejci et al. (1990) entsprechen 1200 Zyklen Temperaturwechselbelastung einer Alterung um ca. 6 Monate nach Füllungsapplikation in vivo.

Im Anschluss an die Thermowechselbelastung wurde bei allen Proben okklusal eine Zahnbürstenabrasion durchgeführt. Obwohl die in vivo Bedingungen nicht vollständig nachvollziehbar sind, werden mit Thermocycling und mechanischer Abrasion doch bereits wesentliche Einflüsse auf die Füllung in situ berücksichtigt. Es ist jedoch auch zu beachten, dass es bei der Bestimmung des Alterungsverhaltens zahnärztlicher Restaurationsmaterialien nicht ausreicht nur rein mechanische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. So werden bei zukünftigen Studien auch Alterungsmedien und -methoden in ihrer biologischen Wechselwirkung (z. B. Adhäsion von Mikroorganismen) Berücksichtigung finden müssen, um ein möglichst ganzheitliches Bild des Alterungsprozesses gewinnen zu können (Hahnel 2009).

Zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung wurden mit Hilfe der Replika-Technik Epon-Probenkörper hergestellt. Die nicht destruktive Replika-Technik hat nebenbei den großen Vorteil, dass sie eine Bewertung der Restaurationen zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten ermöglicht (Roulet et al. 1989). Die hohe Detailwiedergabe und geringe Artefaktanfälligkeit gewährleisten präzise Aussagen zu den Füllungsoberflächen und dem Grenzflächenverhalten.

Zur Bewertung der einzelnen Restaurationsmaterialien wurden die M-Kriterien des C(-clinical) P(-photographical) M(-microscopical)-Index (Hoyer et al. 1993) verwendet. Der CPM-Index ermöglicht die Beurteilung einer größeren Probenzahl und stellt dennoch ein empfindliches Bewertungssystem für Kompositrestaurationen dar. Mit der Codierung (Code 0 bis Code 3) bei den einzelnen Kriterien kann eine gute qualitative und semiquantitative Beurteilung der Oberflächen und des Randverhaltens der Materialien ermöglicht und auch realisiert werden. Die Drittelung der zu beurteilenden Fläche innerhalb eines Kriteriums führte teilweise zu einer zu kritischen Beurteilung, so dass ein zu positives Ergebnis fast immer auszuschließen ist.

Um experimentelle kariöse Läsionen zu erzeugen, stehen vorrangig mikrobiologische (Fontana et al. 1999) und chemische Demineralisationssysteme (ten Cate und Arends 1978) zur Verfügung. In unserer Studie wurde ein chemisches System verwendet, dass auf die klassische Gelmethode von ten Cate und Arends (1978) zurückgeht und von Kraft et al. (1993) und Carstens (2007) modifiziert wurde. Um „caries like lesions“ an den approximalen Grenzbereichen zu erhalten, musste besonders die unterschiedliche Säureanfälligkeit von Schmelz und Dentin beachtet werden. Carstens (2007) konnte in ihrer Studie nachweisen, dass eine 3%-ige HEC-Hydroxyethylcellulose-Lösung, Demineralisationszeiten von zwei Wochen für Schmelz und eine Woche für Dentin, sowie eine Umgebungstemperatur von 37°C die optimalen Demineralisationsparameter für beide Zahnhartsubstanzen darstellen. Die Vorteile dieses von uns angewandten Systems liegen vor allem in der relativ sicheren Handhabung der Demineralisationsparameter, der exakten Kontrolle und der guten Reproduzierbarkeit.

Zur polarisationsmikroskopischen Untersuchung der demineralisierten Füllungsbereiche mussten Dünnschnitte hergestellt werden. Es wurden 4 – 6 Schnitte pro

approximalen Grenzbereich erstellt und somit bis zu 2/3 der approximalen Stufen erfasst. Damit war es möglich, detaillierte Aussagen zur Korrelation vorhandener Füllungsimperfectionen und nachweisbarer experimenteller kariöser Läsionen zu machen. Für die optimale Auswertung der Schnitte war es besonders wichtig, eine stereomikroskopische Vorkontrolle durchzuführen und auf eine Schnittrichtung senkrecht zum Füllungsrand zu achten, um Unschärfen durch Überlagerung und damit Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Zur polarisationsmikroskopischen Auswertung des Grenzbereiches Füllung/Schmelz wurde Ethanol als Imbibitionsmedium verwendet, da Ethanol aufgrund seiner geringen Oberflächenspannung schnell in die Poren des Schnittes diffundieren kann. Im Grenzbereich Füllung/Dentin wurde bidestilliertes Wasser benutzt, da das Dentin bei Imbibition mit Alkohol schrumpft und sich dabei Artefakte entwickeln können (Ruben und Arends 1993). Wasser besitzt zwar eine höhere Oberflächenspannung, hat aber eine kleinere Molekülgröße als Alkohol. Hierdurch benötigt es länger zur Diffusion, ist aber in der Lage alle Poren auszufüllen (Schmidt und Keil 1958).

Die polarisationsmikroskopischen Untersuchungen erfordern einen hohen Arbeitsaufwand bei größter Exaktheit im Experiment, stellen aber für die Aufgabenstellung der vorliegenden Studie die adäquate Methode dar.

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

Die different formulierten Materialien mit teils unterschiedlichem Handling erbrachten bei der Beurteilung des Oberflächenverhaltens und der Randimperfectionen keine extremen Differenzen, sondern nur lokale Unterschiede.

Die detaillierteren Ergebnisse der mikromorphologischen Untersuchungen (REM) zum Oberflächenverhalten zeigen bei der Mehrzahl der Proben vor und nach Alterung lokale Rauigkeiten und Inhomogenitäten mit statistisch signifikantem Unterschied zwischen den Materialien. Tetric® EvoCeram wies hier die signifikant schlechtesten Codierungen auf. Auch das Nano-Hybrid-Komposit Grandio® erbrachte nicht, wie erwartet, die besseren Werte. Die Ursachen für die, bei

keinem Material optimalen Resultate bezüglich der Oberflächenqualität sind in drei Richtungen zu diskutieren: Handlingeigenschaften – Oberflächenbearbeitung – Materialcharakteristik/Füllervariationen.

Das Handling der einzelnen Materialien wies in einzelnen Parametern Unterschiede auf. Es scheint, dass die Klebrigkeit, die Homogenität und die Standfestigkeit eines Materials besonderen Einfluss auf die erfolgreiche Applikation und damit die Qualität der Füllung haben. Die schlechten Ergebnisse für Tetric® EvoCeram können demzufolge mit der erschwerten Applikation durch die, speziell bei diesem Material vorhandene Klebrigkeit und makroskopisch bereits auffällige Inhomogenität erklärt werden. Grandio®, QuixFil® und Dyract® eXtra ermöglichten aufgrund kaum vorhandener Klebrigkeit und größerer Homogenität eine bessere Applikation, trotz unterschiedlicher Standfestigkeit. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Taschner et al. (2007) in ihrer Studie bezüglich der Handlingeigenschaften von acht aktuellen Komposit-Materialien. Es wurden unsere Erfahrungen, die Applikation, Standfestigkeit, Homogenität und Adaptation betreffend, für Tetric® EvoCeram und Grandio® bestätigt.

Das Ziel einer Komposit-Restauration muss im Hinblick auf die Füllungsprognose eine glatte und möglichst homogene Füllungsoberfläche sein. Dieses Ergebnis wird jedoch meist nur bei Polymerisation gegen eine Matrize erreicht. Bei okklusalen Füllungen und großen Defektfüllungen ist dieses Vorgehen jedoch aus anatomischen Gründen in den seltensten Fällen möglich. Ebenso ist nach Polymerisation bei diesen Füllungen fast immer eine mechanische Formkorrektur notwendig. Somit ist also nach Ausarbeitung/Politur immer mit einer zumindest mikromorphologischen Verschlechterung der Oberflächenqualität gegenüber der polymerisationsbedingten Oberfläche zu rechnen. In der vorliegenden Studie wurde zur Politur nach Empfehlung von Rzanny et al. (2003) das flexible Scheibensystem Sof-Lex verwendet, das bei Füllungskompositen in der zitierten Studie die besten Resultate erbrachte.

Die fehlende Oberflächenhomogenität könnte bei dem Mikro-Hybrid-Komposit Tetric® EvoCeram u. a. auch durch das bei der Ausarbeitung/Politur mögliche „Herausschlagen, -reißen“ von Füllerpartikeln oder Partikelteilen erklärt werden. Damit spielt auch die Materialformulierung, -zusammensetzung bei der Oberflächenqualität noch eine wichtige Rolle. Nano-Hybrid-Komposite wie z. B. Grandio® unterscheiden sich in der Füllerzusammensetzung und -verteilung von

reinen Nanofüller-Kompositen wie z. B. Filtek® Supreme. Yazici et al. (2010) haben in ihrer aktuellen Studie den Einfluss unterschiedlicher Ausarbeitungs-/Politurmodi auf die Oberflächenrauigkeit von Kompositen profilometrisch untersucht. Speziell das Nano-Hybrid-Komposit Grandio® zeigte dabei relativ hohe Rauhtiefen, die teils über dem „kritischen“ Wert von  $> 0,2 \mu\text{m}$  lagen. Die Autoren sehen die Erklärung für dieses überraschende Ergebnis in dem Füllersystem des Materials, das neben  $\text{SiO}_2$ -Nanofüllern von 20 – 60 nm auch Glaskeramikfüller in durchschnittlicher Größe von  $1 \mu\text{m}$  enthält und damit Inhomogenitäten vorprogrammiert sein könnten.

Die detaillierten Ergebnisse der mikromorphologischen Untersuchung (REM) zum Grenzflächenverhalten Komposit/Zahnhartsubstanz zeigten bei allen Materialien am häufigsten Füllungsüberschüsse und Randspalten, gefolgt von negativen Stufen.

Füllungsüberschüsse kamen nach Alterung an allen untersuchten Füllungsgrenzbereichen vor, besonders häufig an den approximalen Stufen im Dentin, und hier ohne statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Materialien. Als Ursachen für das Auftreten von Füllungsüberschüssen okklusal und an den approximalen Stufen sind die morphologischen Gegebenheiten an Prämolaren und Molaren und die damit häufig nicht mögliche (okklusal!) oder nicht perfekt mögliche (approximal!) Matrizenadaptation zu sehen. Im okklusalen Füllungsbereich führt zusätzlich die optimierte Farbanpassung der modernen zahnfarbenen Materialien häufig zur Übermodellation an Fissurenausläufern und Höckerabhängen. An approximalen Stufen, die in Zement-/Dentinbereichen liegen, ist eine regelrechte Applikation des Füllungsmaterials unter Vermeidung von Füllungsüberschüssen in den seltensten Fällen möglich, wie durch experimentelle und klinische Studien immer wieder bestätigt wird.

Durch die zusätzliche Schnittherstellung im Rahmen der polarisationsmikroskopischen Untersuchungen unserer Studie war auch zu sehen, dass Füllungsüberschüsse, vor allem an den approximalen Stufen im Dentin, anteilig ohne adhäsiven Verbund zur Zahnhartsubstanz vorlagen. Füllungsüberschüsse stellen generell und besonders, wenn sie ohne Kontakt zur Zahnoberfläche sind, potentielle Retentionsnischen für mikrobielle Adhärenz und Akkumulation dar und

sind somit immer prognostisch ungünstig zu bewerten (Schmeiser und Hannig 1999, Bürgers et al 2009).

Durch die zusätzlichen polarisationsmikroskopischen Untersuchungen konnten auch teilweise Füllungsrandfrakturen beobachtet werden. Diese signalisieren zwar noch nicht den ungenügenden lokalen adhäsiven Verbund, können aber im Füllungsgrenzbereich zu Randundichtigkeiten führen, die die Randkariesentstehung begünstigen (Carstens 2007).

In unserer Studie stellten Randspalten, als lokalisierte, oberflächliche Kontinuitätstrennung zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz, in allen Füllungsgrenzbereichen eine der häufigsten Imperfektionen nach Alterung dar. Im okklusalen Füllungsgrenzbereich zeigten Grandio®, QuixFil® und Dyract® eXtra die meisten Randspalten. An den approximalen Stufen im Schmelz traten bei Tetric® EvoCeram und QuixFil® am häufigsten Randspalten auf. An der Grenzfläche Komposit/Dentin wurden Randspalten als häufigste Imperfektion bei allen Materialien dokumentiert.

Trotz intensiver Weiterentwicklung von Kompositmaterialien und Adhäsivsystemen ist es besonders bei größeren und tieferen Kavitäten nach wie vor nicht möglich komplett randdichte Restaurationen zu erzielen. Keine Fülltechnik und kein Adhäsiv kann ein mehr oder weniger ausgeprägtes Mikroleakage im Grenzflächenbereich verhindern. Zusätzlich weisen die Hybridschichten der Dentinadhäsive immer Nanospalten zum mineralisierten Dentin auf (Nanoleakage!). Damit ist auch eine bakterielle Invasion der Dentintubuli nicht vollständig auszuschließen, dies wird jedoch offensichtlich vom Endodont toleriert (Gängler et al. 2004). Erst wenn Randspalten als Kontinuitätstrennung zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz über eine gewisse Distanz vorliegen, ist das Risiko einer Kariesentwicklung und im Gefolge einer Pulpaentzündung wesentlich erhöht.

Für das Auftreten von Randspalten können verschiedene Ursachen verantwortlich sein. Neben der topographischen Lage der Füllungsråder sind mit Sicherheit das Handling des Füllungsmaterials, die Auswahl des Adhäsivsystems, die speziellen Materialeigenschaften (Polymerisationsschrumpfkraft, -stress) und nicht zuletzt die Alterung des Materials von nicht immer exakt zu differenzierendem Einfluss auf die Randqualität einer Restauration.



Sobald Restaurationsgrenzen in approximale Bereiche ausgedehnt werden müssen, kommt speziellen Handlingeigenschaften eines Materials (Klebrigkeit, Standfestigkeit) besondere Bedeutung zu. Dies zeigte sich in der vorliegenden Studie besonders bei Tetric® EvoCeram an den approximalen Stufen im Schmelz. Diese Ergebnisse sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf das erschwerte Handling (Klebrigkeit!) zurückzuführen, das erste Inkrement haftete eher am Instrument, als an den Kavitätenwänden. Das gehäufte Auftreten von Randspalten bei QuixFil® ist in Verbindung mit der Bulk-Fill-Technik zu sehen und der dadurch nicht immer exakt möglichen Adaptation des Materials besonders im Bereich der approximalen Stufen. Entgegen unseren Erwartungen zeigten die approximalen Stufen im Dentin vergleichsweise weniger Randspalten, obwohl in diesem besonders schwer zugänglichen Füllungsbereich der Applikation eines Materials die größere Bedeutung zukommt. Dies ist damit zu begründen, dass an den approximalen Stufen im Dentin ein gehäuftes Auftreten von Füllungsüberschüssen zu verzeichnen war und dadurch nur diese Imperfektionen bewertet werden konnten. Füllungsråder besonders nahe bzw. unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze zeigen eine größere Tendenz zur Spaltbildung (Manhart et al. 1999, Haller und Schuster 2000).

In der vorliegenden Studie wurden die vom Hersteller empfohlenen Adhäsivsysteme benutzt, um chemische Inkompatibilitäten, die zur Verminderung der Randqualität führen könnten, zu vermeiden. In unserer Studie konnten keine speziellen Einflüsse der Adhäsivsysteme auf das Randverhalten nachgewiesen werden. Lediglich bei Tetric® EvoCeram fiel bei den polarisationsmikroskopischen Untersuchungen an den approximalen Kavitätenwänden und Kavitätenböden eine Ansammlung von Bondingmaterial (Pooling) auf. Ausgeprägte Bondingschichten neigen zu einer hohen Schrumpfung und können Randspaltbildung zur Folge haben.

Im Ergebnis experimenteller Studien konnte bisher keine eindeutige Favorisierung eines Adhäsivsystems, vor allem in seiner Wirksamkeit auf unterschiedliche Zahnhartsubstanzen (Schmelz/Dentin) nachgewiesen werden. Frankenberger und Tay (2005) untersuchten in einer In-vitro-Studie den Einfluss unterschiedlicher Bondingsysteme (u. a. Syntac® classic, Xeno® III) auf die marginale Integrität von Kompositfüllungen mit Tetric® Ceram. Diese Untersuchung zeigte, dass die Self-

Etch-Technik weniger effektiv gegenüber der Total-Etch-Technik war, besonders an den approximalen Stufen im Dentin. Rosales-Leal (2007) wies in einer in-Vitro-Studie an Klasse-V-Kavitäten für Syntac® classic mit Tetric® EvoCeram im schmelzbegrenzten Füllungsbereich bessere Resultate nach, während Xeno III® mit Ceram® X mono an der Schmelz-Zement-Grenze die besseren Ergebnisse zeigte. Auch Manhart und Trumm (2007) bestätigten in ihrer In-vitro-Studie an Klasse-II-Kavitäten gute Ergebnisse für Syntac® classic mit Tetric® EvoCeram an schmelzbegrenzten Füllungsbereichen, während die approximalen Stufen im Dentin eine schlechtere marginale Adaptation mit Syntac® classic zeigten. Es ist mit Sicherheit erst durch langfristige klinische Studien eine endgültige Klärung bezüglich des besten adhäsiven Verbundes zu erwarten.

Die marginale Integrität von Restaurationen ist im Wesentlichen auch von Materialeigenschaften abhängig, im Besonderen von der Polymerisations-schrumpfung. Die polymerisationsbedingte Schrumpfung von Kompositmaterialien stellt nach wie vor noch ein Problem dar und ist Gegenstand experimenteller und klinischer Studien (Ilie et al. 2009, Clifford et al. 2009). So wurde auf verschiedene Art und Weise versucht die Polymerisationsschrumpfung, die von Faktoren, wie dem Füllkörperanteil und der Monomierzusammensetzung eines Komposites abhängt, zu minimieren. Ein prozentual höherer Fülleranteil kann zwar die Gesamtschrumpfung des Materials über einen minimierten Matrixanteil reduzieren, führt aber nicht unbedingt zu einer geringeren Polymerisations-schrumpfungskraft. Letzterer kommt jedoch nach neueren Untersuchungen eine größere Bedeutung bei der Prognose einer Füllung zu, als der allgemeinen Polymerisationsschrumpfung (Schattenberg et al. 2007). Die Polymerisations-schrumpfungskraft wird wesentlich vom C-Faktor (Verhältnis von freier zu adhäsiv gebundener Oberfläche) beeinflusst. Durch einen günstigen C-Faktor ist meist der okklusale Füllungsgrenzbereich weniger anfällig für Randspaltbildung (Kobler et al. 2009). In unserer Studie wurde Tetric® EvoCeram als schrumpfungskraft-reduziertes Füllungsmaterial verwendet, welches im okklusalen Füllungsgrenzbereich die wenigsten Randspalten aufwies, mit statistisch signifikantem Unterschied zwischen den Materialien. Die im okklusalen Füllungsgrenzbereich vergleichsweise schlechteren Ergebnisse für QuixFil®, obwohl als schrumpfungsreduziertes Hybrid-Komposit deklariert, könnten auf die Applikation

in Bulk-Fill-Technik und die dadurch höhere Polymerisationsschrumpfungskraft zurückzuführen sein. Dies würde auch die für QuixFil® gewonnenen Ergebnisse in den approximalen Bereichen begründen. Klaiber (2010) hält die Bulk-Fill-Technik für nicht empfehlenswert, da eine ausreichende Durchhärtung des Materials in klinischen Situationen nicht mit Sicherheit gewährleistet ist. Demgegenüber konnten Manhart et al. (2009) in einer klinisch kontrollierten drei-Jahres-Studie mit QuixFil®-Restorationen in Kavitäten Klasse I und II klinisch akzeptable Ergebnisse erzielen.

In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass bei Kompositfüllungen die zusätzliche Verwendung eines Flow-Komposites (niedriger E-Modul!) zur besseren initialen Adaptation an approximalen Stufen eine Verbesserung der Randdichtigkeit ermöglichen kann (Ernst et al. 2001, Peris et al. 2003, Korkmaz et al. 2007, Kobler et al. 2009). Die grundsätzliche Verwendung eines Flow-Komposites als Liner bei ausgedehnten okklusal-approximalen Kompositrestaurationen im Seitenzahnbereich wird nach wie vor noch kontrovers diskutiert, da auch bisher nicht nachgewiesen werden konnte, dass dadurch generell eine Reduktion des auftretenden Polymerisationsschrumpfungsstressses einhergeht (Braga et al. 2003). Außerdem sind der Ausweitung des Indikationsspektrums dieser Kompositvariante durch die physikalischen Eigenschaften deutliche Grenzen gesetzt.

Durch zahlreiche experimentelle und klinische Studien wird immer wieder belegt, dass durch die Alterung der Füllungsmaterialien besonders die Randqualität abnimmt, dies betrifft eine stärkere Ausprägung von Mikroleakage und die Zunahme von Randspalten. Gleichzeitig belegen die wenigen klinischen Langzeitstudien, dass Alterung der Materialien nicht gleichzeitig Sekundärkariesentstehung oder Ersatz der Füllungen bedeutet (Raskin et al. 1999, Türkün et al. 2003, Gängler et al. 2004, Kiremitci et al. 2009).

Neben Füllungsüberschüssen und Randspalten wurden in der vorliegenden Studie negative Stufen im okklusalen Füllungsgrenzbereich bei allen Materialien bereits nach Füllungsanlage dokumentiert, was auf Ausarbeitung und Politur zurückzuführen ist. Nach Thermocycling und mechanischer Abrasion der Proben kam es

erwartungsgemäß zu einer Zunahme, bei allen Materialien ohne statistisch signifikanten Unterschied. In situ führt die funktionsbedingte Abrasion insbesondere okklusal zu Materialdefiziten (Gäbler 2001). In einer klinisch-kontrollierten 10-Jahres-Studie konnte jedoch eindeutig gezeigt werden, dass negative Stufen im okklusalen Füllungsgrenzbereich nur in wenigen Fällen zur Auslösung von Sekundärkaries führten (Gängler et al. 2004).

Rasterelektronenmikroskopisch nicht objektivierbar, konnten jedoch durch die Schnittherstellung im Rahmen der polarisationsmikroskopischen Untersuchungen zusätzlich Schmelzrandfrakturen an den approximalen Stufen im Schmelz dokumentiert werden. Sakaguchi et al. (2005) sehen die Polymerisations-schrumpfung, den Einfluss des Adhäsives bzw. die physikalischen Eigenschaften des Füllungsmaterials (E-Modul!) und deren teilweise nicht möglichen Ausgleich durch die elastische Deformation der Zähne, als mögliche Ursachen für das Auftreten von Schmelzrandfrakturen an. Auch die Größe der Kompositfüllungen (Polymerisationsschrumpfkraft) kann das Auftreten von Schmelzrandfrakturen beeinflussen. So untersuchten Tantbirojn et al. (2004) in ihrer In-vitro-Studie, dass ausgedehnte MOD-Restaurationen die größten Spannungsparameter zeigen und damit häufiger zu Schmelzrandfrakturen führen können. Zusätzlich können auch Belastungen im Rahmen von In-vitro-Experimenten (z. B. Dünnschnittherstellung) zur Entstehung von Schmelzrandfrakturen führen (Glockner et al. 1995). Ob Schmelzrandfrakturen material- oder methodenbedingt sind, lässt sich nur selten mit Sicherheit sagen.

In der Summe der beurteilten Imperfektionen in den drei untersuchten Füllungsgrenzbereichen zeigten alle vier Materialien ähnliche Ergebnisse, nur teils mit lokalen Unterschieden. Unerwartet zeigten QuixFil® mit seiner Bulk-Fill-Technik und Dyract® eXtra als Kompomer keine generellen Unterschiede zu den favorisierten Materialien Tetric® EvoCeram und Grandio®. Dies bestätigen auch die klinischen Ergebnisse einer aktuellen 1-Jahres-Studie von Celik et al. (2010), die vergleichbare Resultate für Grandio® und QuixFil® beobachten konnten. Türkün et al. (2008) konnten in ihrer klinischen 2-Jahres-Studie mit Dyract® eXtra und Filtek® Supreme gute bis klinisch akzeptable Ergebnisse für beide Materialien nachweisen.

Die detaillierten Ergebnisse der mikromorphologischen Untersuchung (POLMI) zur Korrelation von Füllungsrandimperfectionen bei den einzelnen Materialien und der Auslösung kariöser Wandläsionen ergaben keine generellen Unterschiede.

Rein experimentell bedingt konnten bei allen Proben Oberflächenläsionen nachgewiesen werden, deren Ausdehnung zwischen 100 und 200 µm lag. Diese Läsionen entstehen während der Säureattacke an der ungeschützten Zahnoberfläche. Zusätzlich zu diesen Oberflächenläsionen konnten häufig, die im Fokus stehenden kariösen Wandläsionen registriert werden. Wandläsionen entstehen als Folge der Diffusion saurer Produkte oder Hydrogenionen der dentalen Plaque bzw. artifizieller Kariesmedien im Mikrospace zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial. Die Ausprägung von Wandläsionen wird demzufolge vor allem durch die Qualität der marginalen Adaptation des Füllungsmaterials bestimmt. Durch einen primär ungenügenden adhäsiven Verbund bzw. durch späteres Versagen dieses Verbundes kann es zu Spaltbildung zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz kommen und somit auch zu sekundärer Randkaries. Besonders häufig fanden sich in unserer Studie initiale kariöse Wandläsionen im Zusammenhang mit Füllungsüberschüssen an den approximalen Stufen im Dentin. Diese Korrelation war statistisch signifikant und traf auf alle Materialien zu. Ein Grund für diese Ergebnisse, sind mit großer Wahrscheinlichkeit die häufig vorhandenen Füllungsüberschüsse ohne Kontakt zur Zahnhartsubstanz, wodurch es zu relativ ungehinderter Penetration der Demineralisationslösung kommen konnte.

Außerdem zeigte sich, dass an beiden approximalen Stufen am Übergang zu Überschüssen Randfrakturen auftraten. In Fortsetzung der Frakturlinie entlang der Kavitätenwand waren bei allen Materialien häufig initiale Wandläsionen zu finden. Erstmalig wies Carstens (2007) in ihrer mikromorphologischen Untersuchung an einem Polyglas-Komposit auf Fortsetzung von Frakturlinien bei Füllungsrandfrakturen hin.

Bei beiden approximalen Stufen wurden in unserer Studie an den meisten registrierten Randspalten Wandläsionen dokumentiert. Diese Korrelation war statistisch signifikant und traf auf alle Materialien zu, mit Ausnahme von Dyract® eXtra. Nach Untersuchungen von Haller et al. (1993) findet eine Diffusion von Flüssigkeiten bzw. Pufferlösungen entlang des Randspaltes und durch die

Bondingschicht an der Kavitätenwand statt. Eine enge Beziehung zwischen Randspalten und kariösen Läsionen konnte in Studien bereits belegt werden (Gängler et al. 2002, 2004). In der vorliegenden Arbeit traten bei dem Füllungsmaterial Dyract® eXtra im Vergleich zu den drei anderen Materialien sowohl an den approximalen Stufen im Schmelz als auch besonders an den approximalen Stufen im Dentin weniger kariöse Wandläsionen auf. Dies könnte auf den Fluoridgehalt des Kompomers zurückzuführen sein. So untersuchte Steidl (2001) die mögliche Inhibition artifizieller Karies im Grenzflächenbereich Restauration- Schmelz/Dentin. Zur Anwendung kamen dabei drei unterschiedliche Füllungsmaterialien: ein Glasionomerzement, ein Kompomer und ein Feinstpartikel-Hybrid-Komposit. Im Resultat zeigten sich die besten Ergebnisse für das Glasionomerzement und das Kompomer als fluoridhaltige Materialien. Auch Lennon et al. (2007) bestätigten in ihrer vergleichenden In-vitro-Studie von Dyract® eXtra und Spectrum® TPH für das Füllungsmaterial Dyract® eXtra einen kariesprotektiven Effekt gegenüber dem fluoridfreien Komposit. Die Autoren brachten jedoch explizit zum Ausdruck, dass diese Ergebnisse der protektiven Wirkung nur für das Kompomer Dyract® eXtra nachgewiesen wurden und dieses Ergebnis nicht auf andere Kompomere übertragbar sei. An den approximalen Stufen im Schmelz und im Dentin zeigten alle Materialien auch ein häufiges Auftreten von Poren/oberflächlichen Materialdefiziten. Die Korrelation dieser Randimperfektion mit initialen Wandläsionen war statistisch signifikant und traf auf alle Materialien zu. Es ist nicht ganz auszuschließen, dass diese nur polarisationsmikroskopisch darstellbaren Imperfektionen an randnahen Füllungsanteilen experimentell durch die künstliche Alterung bzw. die Dünnschnittherstellung bedingt sind.

Die vorliegenden experimentellen Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass vor allem primär bei der Applikation bereits vorhandene bzw. später durch Versagen des adhäsiven Verbundes vorliegende Randspalten generell ein potentielles Kariesrisiko für Kompositfüllungen darstellen. Dies trifft mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf neuere Formulierungen zu. Das gilt auch für Füllungsüberschüsse und damit korrespondierende Füllungsrandfrakturen, auch diese sind als Risiko bei der Langzeitprognose von Kompositrestaurationen anzusehen.

Bei der ausgereiften Materialtechnologie der aktuellen Werkstoffe scheint somit die Qualität einer Kompositrestauration nicht in erster Linie vom Material, sondern von der Sorgfalt und dem Können des Zahnarztes beeinflusst zu werden.

## 7 Schlussfolgerung

- Für detaillierte Aussagen zu dem frühen Deteriorationsrisiko und zur Langzeitprognose von Kompositfüllungen sind In-vitro Untersuchungen mit mikromorphologischer Kontrolle vor und auch nach Markteinführung wertvoll und notwendig.
- Trotz unterschiedlicher Formulierung und teils differenten Handlings zeigten die mikromorphologischen Ergebnisse keine extremen Differenzen zwischen den vier Materialien.
- Bei der ausgereiften Materialtechnologie der aktuellen Werkstoffe scheint somit die Qualität einer Kompositrestauration nicht in erster Linie vom Material, sondern von der Sorgfalt und dem Können des Zahnarztes beeinflusst zu werden.
- Mit den Nano-Hybrid-Kompositen scheint es noch nicht bei allen Produkten gelungen zu sein, die ästhetischen und mechanischen Eigenschaften der bewährten klassischen Hybrid-Komposite nachweislich zu optimieren.
- Das Kompomer Dyract® eXtra (!) erbrachte bei MOD-Füllungen den Hybrid- und Nano-Hybrid-Kompositen vergleichbare Ergebnisse, zusätzlich ist eine kariesprotektive Wirkung nicht auszuschließen.
- Es ist der Vorteil der Methodenkombination REM/POLMI im superfiziellen und subfiziellen Füllungsgrenzbereich erste Imperfektionen zu erkennen, die erheblichen Einfluss auf die langfristige Sicherheit der Restauration haben können.



## 8 Literaturverzeichnis

ADA/ANSI (1982)

Council on Dental Materials, Instruments and Equipment. Addendum to American National Standards/ American Dental Association Document No. 41 for recommended standard practices for biological evaluation of dental materials.

Chicago.

Benz C, Hickel R (2005)

Die Qualität von Klasse-II-Kompomerfüllungen nach 4 Jahren.

Dtsch Zahnärztl Z 60: 200-202.

Benz C, Hickel R (2008)

Die Qualität von Klasse-II-Kompomerfüllungen nach 5 Jahren.

Dtsch Zahnärztl Z 63: 743-748.

Blunck U, Zaslansky P (2007)

Effectiveness of all-in-one adhesive systems tested by thermocycling following short and long-term water storage.

J Adhes Dent 9 (2): 231-240.

Boyle EL, Higham SM, Edgar WM (1998)

The production of subsurface artificial caries lesions on third molar teeth.

Caries Res 32 (2): 154-158.

Braga RR, Hilton TJ, Ferracane JL (2003)

Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers.

J Am Dent Assoc 134 (6):721-728.

Brenner C (2004)

Die Adhäsivtechnik – effizient und einfach.

Magazin für Zahnheilkunde, Management und Kultur 20: 304-316.

Buonocore MG (1955)

A simple method of increasing the adhesion of acryl filling material to enamel surfaces.

J Dent Res 34: 849-853.

Bürgers R, Schneider-Bracher W, Hahnel S, Rosentritt M, Handel G (2009)

Streptococcal adhesion to novel low-shrink silorane-based restorative.

Dent Mater 25 (2): 269-275.

Carstens N (2007)

Möglichkeiten des mikrostrukturellen Nachweises von Füllungsimperfectionen bei einem Hybridkomposit und deren potentieller Einfluss auf die experimentelle Kariesauslösung.

Zahnmedizinische Dissertation FSU Jena.

Celik C, Arhun N, Yamanel K (2010)

Clinical evaluation of resin-based composites in posterior restorations: 12-month results.

Eur J Dent 4 (1): 57-65.

Clifford SS, Roman-Alicea K, Tantbirojn D, Versluis A (2009)

Shrinkage and hardness of dental composites acquired with different curing light sources.

Quintessence Int 40 (3): 203-214.

Cvar JF, Ryge G (2005)

Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971.

Clin Oral Investig 9 (4): 215-232.

Danebrock M (2004)

Nanotechnologie – neue Chancen für Composite.

Zahn Praxis 7: 144-145.

Denehy GE, Vargas M (1996)

Class V restorations utilizing a new compomer material: a case presentation.

Pract Periodontics Aesthet Dent 8 (3): 269-277.

Dentsply DeTrey (2003)

Produktinformation: Quixfil®, Dyract® eXtra, Xeno®III.

Dentsply DeTrey, Konstanz/Deutschland.

Dietrich T, Lösche AC, Lösche GM, Roulet JF (1999)

Marginal adaptation of direct composite and sandwich restorations in Class II cavities with cervical margins in dentine.

J Dent 27 (2): 119-128.

Ernst CP, Cortain G, Spohn M, Buhtz Ch, Rissing C, Willershausen B (2001)

In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur Randqualität eines stopfbaren Kompositmaterials.

ZWR 110. Jahrg. 2001 (6): 401-409.

Ernst CP, Fiedler T, Brandenbusch M, Willershausen B (2005)

In-vitro-Untersuchung zum Randschluss selbstkonditionierender Adhäsive in Klasse-II-Kavitäten.

Dtsch Zahnärztl Z 60: 193-199.

Ernst CP, Willershausen B (2003)

Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite.

Zahnärztl Mitt 93 (7): 30-40.

3M Espe (2002)

Produktinformation: Filtek® Supreme.

3M Espe, Seefeld/Deutschland.

Fontana M, Gonzàles-Cabezas C, Wilson ME, Appert C (1999)

In vitro evaluation of a „smart“ dental material for its efficacy in preventing secondary caries using a microbial artificial mouth model.

Am J Dent 12: 8-9.

Forsten L (1998)

Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect.

Biomaterials 19 (6): 503-508.

Frankenberger R (2001)

Techniksensitivität von Dentinadhäsiven.

Bayrisches Zahnärzteblatt Dezember: 30-32.

Frankenberger R, Tay FR (2005)

Self-etch vs etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations.

Dent Mater 21 (5): 397-412.

Gäbler P (2001)

10-Jahres-Report von Kompositfüllungen im Seitenzahnbereich – eine longitudinale mikromorphologische Studie.

Zahnmedizinische Dissertation FSU Jena.

Gängler P, Hoyer I, Montag R, Glockmann E (2002)

Longitudinal micromorphological 13 year results of posterior GIC/Composite restorations.

J Dent Res 81: 236 (Spec Iss B) (Abstr. 26).

Gängler P, Hoyer I, Montag R, Gaebler P (2004)

Micromorphological evaluation of posterior composite restorations – a 10-year report.

J Oral Rehabil 31 (10): 991-1000.

Glockmann E, Gehroldt C, Triemer K (1997)

Freisetzung von Fluorid aus unterschiedlichen Glasionomerzementen.

Dtsch Zahnärztl Z 52: 668-672.

Glockner K, Ebeleseder K, Remschmidt R, Städtler P (1995)

Vergleich der Randedichtigkeit verschiedener Komposit-Seitenzahnversorgungen.

ZWR 104. Jahrg. 1995 (4): 267-271.

Glockner K, Reich ME, Kos S, Ebeleseder K, Keil C, Städtler P (1998a)

Marginale Randadaptation von zahnfarbenen Klasse-II-Versorgungen.

ZWR 107 Jahrg. 1998 (11): 679-685.

Glockner K, Reich ME, Kos S, Ebeleseder K, Keil C, Städtler R (1998b)

Randadaptation von verschiedenen zahnfarbenen Klasse-II-Versorgungen. Eine In-vitro Studie mit 10 verschiedenen Materialien.

Dtsch Zahnärztl Z 53: 775-780.

Göhring TN, Gallo L, Lüthy H (2005)

Effect of water storage, thermocycling, the incorporation and site of placement of glass-fibers on the flexural strength of veneering composite.

Dent Mat 21 (8): 761-772.

Hahnel (2009)

Voco Dental Challenge 2009 - Das Finale bei den Dentalisten.

VOCO GmbH, Cuxhaven/Deutschland.

Haller B (1992)

Untersuchung zum Mechanismus und zur Wirksamkeit von Komposit-Dentinhaftmitteln.

Habilitationsschrift, Würzburg.

Haller B (1994)

Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern.

Dtsch Zahnärztl Z 49: 750-759.

Haller B (2000)

Recent developments in dentin bonding.

Am J Dent 13 (1): 44-50.

Haller B, Blunk U (2003)

Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme.

Zahnärztl Mitt 93 (7) (808): 48-58.

Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Pfannkuch A (1993)

Beständigkeit des Komposit-Dentinverbundes bei künstlicher Alterung.

Dtsch Zahnärztl Z 48: 100-104.

Hannig M und Bott B (2000)

Randschlußverhalten von plastischen zahnfarbenen Füllungen in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten.

Dtsch Zahnärztl Z 55 (2): 134-138.

Helbig EB, Klimm HW, Rietschel J, Schreger IE, Richter G, Haufe E (2005)

Ein Total-Etch-Einkomponenten- und ein selbstätzendes Zwei-Komponenten-adhäsiv im klinischen Dreijahrestest.

Dtsch Zahnärztl Z 60: 457-463.

Hellwig E, Klimek J, Attin T (1999)

Restauration mit plastischen Füllungsmaterialien.

Einführung in die Zahnerhaltung, U & S Verlag.

Heraeus Kulzer (2009)

Produktinformation: Venus® Diamond.

Heraeus Kulzer, Hanau/Deutschland.

Hickel R (1997)

Moderne Füllungswerkstoffe.

Dtsch Zahnärztl Z 52: 572-585.

Hickel R, Kunzelmann KH, Obermeier T (1994)

Die Kompositfüllung im Seitenzahnbereich - Teil I.

ZWR 103. Jahrg. 1994 (10): 610-618.

Hickel R, Kunzelmann KH, Obermeier T (1994)

Die Kompositfüllung im Seitenzahnbereich - Teil II.

ZWR 103. Jahrg. 1994 (11): 690-697.

Hilton TJ (2002)

Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations. Part 2.

Am J Dent 15 (4): 279-289.

Hilton TJ and Ferracane JL (1999)

Cavity preparation factors and mikroleakages of Class II composite restorations filled at intraoral temperatures.

Am J Dent 12 (3): 123-130.

Hofmann N (2008)

Persönliche Mitteilung

22. Jahrestagung der DGZ, Würzburg.

Hoyer I, Gängler P, Montag R, Wucherpfennig G, Langer K (1993)

Longitudinal 5-year-study of posterior GIC/Composite restorations using CPM-criteria.

J Dent Res 72: 259 (Abstr.).

Hugo B, Stassinakis A, Hotz P (1995)

New method for reproducible and standardized cavity preparation of Class-II lesions.

J Dent Res 74: 560 (Abstr.).

Hugo B, Hofmann N, Klaiber B, Kim S, Stassinakis A (1999)

Randqualität von kleinen und großen Klasse-II-Kompositfüllungen bei unterschiedlichem Kavitätenrandwinkel und unterschiedlichen Restaurationsmaterialien.

13. Jahrestagung der DGZ, Saarbrücken (Abstr. Band).

Ilie N, Kunzelmann KH, Hickel R (2003)

Werkstoffkundliche Untersuchungen zu Kompomeren.

Dtsch Zahnärztl Z 58: 667-673.

Ilie N, Jelen E, Hickel R (2009)

Is the soft-start polymerisation concept still relevant for modern curing units?

Clin Oral Investig 24: 347-354.

ISO 10993 (1992-1997)

International Organisation for Standardization: Biological evaluation of medical devices.

Geneva.

Ivoclar Vivadent (2005)

Produktinformation: Tetric® EvoCeram, Syntac® classic.

Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein.

Janda R, Roulet JF, Latta M, Rüttmann S (2007)

Water sorption and solubility of contemporary resin-based filling materials.

J Biomed Mater Res B Appl Biomater 82 (2): 545-551.



Kiremitci A, Alpaslan T, Gurgan S (2009)

Six-year clinical evaluation of packable composite restorations.

Oper Dent 34 (1): 11-17.

Klaiber B (2010)

Persönliche Mitteilung

Fortbildungsveranstaltung der Landes Zahnärztekammer Thüringen, Erfurt.

Kobler A, Schaller HG, Gernhardt CR (2009)

Klinische Untersuchung des selbstätzenden Einkomponenten-Adhäsivs Adhes One- Einjahresergebnisse.

Dtsch Zahnärztl Z 64 (9): 558-565.

Korkmaz Y, Ozel E, Attar N (2007)

Effect of flowable composite lining on mikroleakage and internal voids in Class II composite restauration.

J Adhes Dent 9 (2): 189-194.

Korkmaz Y, Ozel E, Attar N, Aksoy G (2008)

The influence of one-step polishing systems of the surface roughness and microhardness of nanocomposites.

Oper Dent 33 (1): 44-50.

Kraft U, Hoyer I, Wucherpfennig G, Gängler P (1993)

The reactivity of Sound and Polished enamel to in vitro demineralization.

Caries Res 27: 218 (Abstr. 41).

Kraft U, Montag R, Hoyer I (1999)

Effect of fluoride released from filling materials on the formation of artificial enamel and dentine lesions.

Caries Res 33: 306 (Abstr. 75).

Krejci I, Reich T, Lutz F, Albertoni M (1990)

In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 100 (8): 953-960.

Lambrechts P, Van Meerbeek B, Perdigao J, De Munck J, Vanherle G (2001)

Mögliche Fehler bei der klinischen Anwendung von Adhäsiven.

Die Adhäsivtechnologie – Ein Leitfaden für Theorie und Praxis.

3M Espe AG, Seefeld/Deutschland.

Leinefelder KF, Bayne SC and Swift EJ (1999)

Packable composites: overview and technical considerations.

J Esthet Dent 11 (5): 234-249.

Lennon AM, Wiegand A, Buchalla W, Attin T (2007)

Approximal caries development in surfaces in contact with fluoride-releasing and non-fluoride-releasing restorative materials: an in situ study.

Eur J Oral Sci 115 (6): 497-501.

Lohbauer U, Krämer N (2009)

Werkstoffkundliche Standortbestimmung konventioneller Glasionomerezemente.

Quintessenz 60 (7): 799-808.

Manhart J, Hollwich B, Mehl A, Kunzelmann KH, Hickel R (1999)

Randqualität vonOrmocer- und Kompositfüllungen in Klasse-II-Kavitäten nach künstlicher Alterung.

Dtsch Zahnärztl Z 54: 89-95.

Manhart J, Chen HY, Hickel R (2009)

Three-year results of a randomized controlled clinical trial of the posterior composit QuixFil in Class I and II cavities.

Clin Oral Investig 13 (3): 301-307.

Manhart J, Chen HY, Mehl A, Weber K, Hickel R (2001)

Marginal quality and microleakage of adhesive class V restorations.

J Dent 29 (2): 123-130.

Manhart J, Trumm C (2007)

Microleakage of XP Bond in Class II cavities after artificial aging.

J Adhes Dent 9 (2): 261-264.

Mc Intyre JM, Featherstone JD, Fu J (2000)

Studies of dental root surface caries 2: The role of cementum in root surface caries.

Aust Dent J 45: 97-102.

Molla K, Park HJ, Haller B (2002)

Bond strength of adhesive/composite combinations to dentin involving total-and self-etch adhesives.

J Adhes Dent 4 (3): 171- 180.

Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM (1995)

Adhesion testing of dentin bonding agents: a review.

Dent Mater 11 (2): 117-125.

Perdigao J, Swift EJ, Heymann HO, Malek MA (1998)

Effect of re-wetting agent on the performance of acetone-based dentin adhesives.

Am J Dent 11 (6): 207-213.

Peris AR, Duarte S, Andrade MF (2003)

Evaluation of marginal mikroleakage in Class II cavities: effect of microhybrid, flowable and compactable resins.

Quintessence Int 34 (2): 93-98.

Puckett AD, Fitchie JG, Kirk CP, Gamblin J (2007)

Direct composite restorative materials.

Dent Clin North Am 51 (3): 659-675.

Raskin A, Michotte-Theall B, Vreven T, Wilson NHF (1999)  
Clinical evaluation of a posterior composite 10-year report.  
J Dent 27 (1): 13-19.

Rosales-Leal JI (2007)  
Microleakage of Class V composite restorations placed with etch-and-rinse and self-etching adhesives before and after thermocycling.  
J Adhes Dent 9 (2): 255-259.

Roulet JF (1987)  
Degradation of dental polymers.  
Karger Basel.

Roulet JF, Reich T, Blunck U, Noack M (1989)  
Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope.  
Scanning Microsc 3 (1): 147-159.

Ruben J and Arends J (1993)  
Shrinkage prevention of in vitro demineralized human dentine in transversal mikroradiography.  
Caries Res 27 (4): 262-265.

Rzanny A, Dörnbrack M, Welker D, Fachet M (2003)  
Optimierung der Oberflächenqualität von Kompositen unterschiedlicher Indikation.  
Dtsch Zahnärztl Z 58: 533-537.

Sakaguchi RL, Wiltbank BD, Murchison CF (2005)  
Cure induced stresses and damage in particulate reinforced polymer matrix composites: a review of the scientific literature.  
Dent Mater 21 (1): 43-46.

Schattenberg A, Meyer GR, Gräber H, Willershausen B, Röhrig B, Ernst CP (2007)

Spannungsoptische Messungen zur Polymerisationsschrumpfungskraft schrumpfreduzierter experimenteller Komposite.

Dtsch Zahnärztl Z 62: 518-524.

Schäffer J (2006)

Das Komposit-Inlay – immer häufiger eine Behandlungsoption im Seitenzahn-bereich.

ZMK 22 (1-2): 53-55.

Schiffner U (2001)

In-vitro-Studie über die Auswirkung des Liners auf die Sekundärkarieshemmung eines ionenfreisetzenden Komposites.

15. Jahrestagung der DGZ, Köln (Abstact Band).

Schmeiser R, Hannig M (1999)

Randqualität approximaler Kompositfüllungen in sonoabrasiv bearbeiteten „Mikro“- Kavitäten.

Dtsch Zahnärztl Z 54: 127-132.

Schmidt WJ und Keil A (1958)

Die gesunden und die erkrankten Zahngewebe des Menschen und der Wirbeltiere im Polarisationsmikroskop.

Carl Hanser Verlag, München.

Scott JA, Saunders WP, Strang R (1992)

The plane of fracture and shear bond strength of three composite inlay systems.

Dent Mater 8 (3): 208-210.

Soltész U, Koplin C (2004)

Polymerisationsschrumpfung neuer Kompositfüllungswerkstoffe.

Zahnärztl Mitt 94 (8) (982): 54-60.

Staehle HJ, Ding PG, Wolff D, Pioch T, Dannewitz B (2009)

Relationship between microtensile bond strength and nanoleakage at the composite-dentin interface.

Dent Mater 25 (1): 135-141.

Steidl F (2000)

Zur Inhibition artifizieller Karies im Grenzflächenbereich Restauration – Schmelz/Dentin.

Zahnmedizinische Dissertation FSU Jena.

Stiesch–Scholz M, Hannig M (1999)

In-vitro-Untersuchung zum Randschlussverhalten von Kompomerfüllungen nach Er:YAG-Laserpräparation.

Dtsch Zahnärztl Z 54 (3):198-201.

Tantbirojn D, Versluis A, Pintado MR, DeLong R, Douglas WH (2004)

Tooth deformation patterns in molars after composite restorations.

Dent Mater 20 (6): 535-542.

Taschner M, Krämer N, Frankenberger R (2007)

Ein neues siloranbasiertes Komposit im Handling-Test.

ZWR 116 Jahrg. 2007 (12): 618-619.

ten Cate JM and Arends J (1978)

Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. II. Determination of activation energy and reaction order.

Caries Res 12 (4): 213-222.

Türkün SL (2003)

Clinical evaluation of a self-etching and a one-bottle adhesive system at two years.

J Dent 31 (8): 527-534.

Türkün SL, Aktener BO, Ates M (2003)

Clinical evaluation of different posterior resin composite materials: a 7-year-report.

Quintessence Int 34 (6): 418-426.

Türkün SL, Celik EU (2008)

Noncarious Class V lesions restored with a polyacid modified resin composite and a nanocomposite: a two-year clinical trial.

J Adhes Dent 10 (5): 399-405.

Van Meerbeeck B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1994)

Dentinhaftung: Mechanismen und klinische Resultate.

Dtsch Zahnärztl Z 49: 977-984.

VOCO (2003)

Produktinformation: Grandio®, Solobond M®.

VOCO GmbH, Cuxhaven/Deutschland.

Yazici AR, Tuncer D, Antonson S, Onen A, Kilinc E (2010)

Effects of delayed finishing/polishing on surface roughness, hardness and gloss of tooth-colored restorative materials.

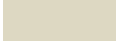
Eur J Dent 4 (1): 50-55.

## Anhang Statistik

### Zu 5.3.5. REM- Ergebnisse

Tab. 23: Asymptotische Signifikanz der mikromorphologischen Ergebnisse zwischen den Füllungsmaterialien (Chi<sup>2</sup>-Test nach Pearson)

	okklusal	approximale Stufe im Schmelz	approximale Stufe im Dentin
Oberflächenrauigkeit	p = 0,005		
Oberflächentextur	p < 0,001		
Randschluss	p = 0,286	p < 0,001	p = 0,085
Füllungsüberschüsse	p = 0,866	p = 0,688	p = 0,226
Randabbrüche	p = 0,029	p = 0,158	p = 0,004
Negative Stufen	p = 0,635	p = 0,362	p = 0,564
Mikrolücken/Randspalten	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,292
Weitere Randimperfectionen	p = 0,004	p = 0,263	p = 0,387

 statistische Signifikanz

Mittels des Chi<sup>2</sup>-Test nach Pearson konnte das Auftreten der verschiedenen Imperfektionen zwischen den Materialien mit statistischer Signifikanz gesichert werden. Die Füllungsimperfektionen, bei denen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, sind Tab. 23 zu entnehmen.

Tab. 24: Asymptotische Signifikanz Oberflächenrauigkeit okklusal

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p = 0,014	p = 0,001	p = 0,006
Grandio®	p = 0,014		p = 0,217	p = 0,335
QuixFil®	p = 0,001	p = 0,217		p = 0,070
Dyract® eXtra	p = 0,006	p = 0,335	p = 0,070	



Tab. 25: Asymptotische Signifikanz Oberflächentextur okklusal

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p = 0,002	p = 0,001	p < 0,001
Grandio®	p = 0,002		p = 0,551	p = 0,157
QuixFil®	p = 0,001	p = 0,551		p = 0,290
Dyract® eXtra	p < 0,001	p = 0,157	p = 0,290	

Tab. 26: Asymptotische Signifikanz Randabbrüche okklusal

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		–	p = 0,312	p = 0,037
Grandio®	–		p = 0,312	p = 0,037
QuixFil®	p = 0,312	p = 0,312		p = 0,157
Dyract® eXtra	p = 0,037	p = 0,037	p = 0,157	

Tab. 27: Asymptotische Signifikanz Randspalten okklusal

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p = 0,001	p < 0,001	p < 0,001
Grandio®	p = 0,001		p = 0,012	p = 0,109
QuixFil®	p < 0,001	p = 0,012		p = 0,353
Dyract® eXtra	p < 0,001	p = 0,109	p = 0,353	

Tab. 28: Asymptotische Signifikanz weitere Randimperfectionen okklusal

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p = 0,297	p = 0,297	p = 0,002
Grandio®	p = 0,297		p = 1,000	p = 0,024
QuixFil®	p = 0,297	p = 1,000		p = 0,024
Dyract® eXtra	p = 0,002	p = 0,024	p = 0,024	

Tab. 29: Asymptotische Signifikanz Randschluss approximale Stufe Schmelz

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p < 0,001	p = 0,030	p < 0,001
Grandio®	p < 0,001		p = 0,028	p = 0,110
QuixFil®	p = 0,030	p = 0,028		p = 0,017
Dyract® eXtra	p < 0,001	p = 0,110	p = 0,017	

Tab. 30: Asymptotische Signifikanz Randspalten approximale Stufe Schmelz

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p < 0,001	p = 0,266	p = 0,005
Grandio®	p < 0,001		p = 0,019	p = 0,156
QuixFil®	p = 0,266	p = 0,019		p = 0,065
Dyract® eXtra	p = 0,005	p = 0,156	p = 0,065	

Tab. 31: Asymptotische Signifikanz Randabbrüche approximale Stufe Dentin

	Tetric® EvoCeram	Grandio®	QuixFil®	Dyract® eXtra
Tetric® EvoCeram		p = 0,312	p = 0,368	p = 0,044
Grandio®	p = 0,312		p = 0,312	p = 0,012
QuixFil®	p = 0,368	p = 0,312		p = 0,022
Dyract® eXtra	p = 0,044	p = 0,012	p = 0,022	

Die statistische Prüfung erfolgte mittels Chi<sup>2</sup>-Test nach Pearson. Die Materialien, zwischen denen eine asymptotische Signifikanz für die jeweilige Imperfektion festgestellt werden konnte, sind den Tab. 24 bis Tab. 31 zu entnehmen.

**Zu 5.5. POLMI- Ergebnisse**

Tab. 32: Asymptotische Signifikanz zwischen der Imperfektion und dem Auftreten der Wandläsion zu 5.5.1.

Tetric® EvoCeram	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Schmelz	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Dentin
Füllungsüberschüsse	–	p < 0,001
Schmelzrandfraktur	–	
Füllungsrandfraktur	–	–
Randspalten	p < 0,001	p < 0,001
Poren/ Materialdefizit	p < 0,001	p < 0,001

Tab. 33: Asymptotische Signifikanz zwischen der Imperfektion und dem Auftreten der Wandläsion zu 5.5.2.

Grandio®	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Schmelz	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Dentin
Füllungsüberschüsse	–	p < 0,001
Schmelzrandfraktur	–	
Füllungsrandfraktur	–	p = 0,059
Randspalten	p < 0,001	p < 0,001
Poren/ Materialdefizit	p < 0,001	p < 0,001

Tab. 34: Asymptotische Signifikanz zwischen der Imperfektion und dem Auftreten der Wandläsion zu 5.5.3.

QuixFil®	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Schmelz	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Dentin
Füllungsüberschüsse	p = 0,030	p < 0,001
Schmelzrandfraktur	–	
Füllungsrandfraktur	p = 0,049	p = 0,003
Randspalten	p < 0,001	p < 0,001
Poren/ Materialdefizit	p < 0,001	p = 0,039

Tab. 35: Asymptotische Signifikanz zwischen der Imperfektion und dem Auftreten der Wandläsion zu 5.5.4.

Dyract® eXtra	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Schmelz	Imperfektion/Wandläsion approximale Stufe im Dentin
Füllungsüberschüsse	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Schmelzrandfraktur	–	
Füllungsrandfraktur	$p = 0,077$	$p = 0,030$
Randspalten	$p = 0,002$	$p = 0,001$
Poren/ Materialdefizit	$p = 0,030$	$p < 0,001$

Mittels des Chi<sup>2</sup>-Test nach Pearson wurde geprüft, ob zwischen dem Auftreten einer Imperfektion und der Entstehung einer Wandläsion an dieser Imperfektion ein Zusammenhang besteht, der statistisch gesichert werden kann. Die Füllungsimperfectionen, bei denen ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden konnte, sind für die einzelnen Materialien den Tab. 32 bis Tab. 35 zu entnehmen.

## Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erklären wir, dass uns die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

wir die Dissertation selbst angefertigt haben und alle von uns benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in unserer Arbeit angegeben sind,

uns folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Frau Prof. Dr. med. habil. I. Hoyer,

Frau OA Dr. med. R. Montag,

Frau Dr. rer. nat. U. Kraft,

Frau S. Schön,

Herr Dipl. phys. W. Dietz,

Frau C. Hemmelmann,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von uns für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass wir die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht haben und

dass wir die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht haben.

---

Ort, Datum

---

Christina Heinze

---

Karin Seidler

## **Verantwortlichkeit für die Abschnitte**

### **Christina Heinze:**

Probenherstellung

künstliche Alterung der Proben (Thermocycling, Zahnbürstenabrasion)

#### **Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung**

- Probenvorbereitung (Replikaterstellung)
- rasterelektronenmikroskopische Untersuchung und mikromorphologische Detailauswertung der 332 Replikate
- Statistische Auswertung
- Literaturrecherche

#### **Erstellung des Manuskriptes**

- Spezifische Anteile: „Material und Methode“, „mikromorphologische Ergebnisse REM“, „Diskussion“

#### **Gemeinsame Anteile**

„Einleitung“, „Ziel der Arbeit“, „Schlussfolgerung“, „Zusammenfassung“, „Anhang“

### **Karin Seidler:**

Probenherstellung

künstliche Alterung der Proben (Thermocycling, Zahnbürstenabrasion)

#### **Polarisationsmikroskopische Untersuchung**

- Probenvorbereitung (experimentelle Kariesauslösung, Schnittherstellung)
- polarisationsmikroskopische Untersuchung und Auswertung der ca. 1000 Zahnschnitte
- Statistische Auswertung
- Literaturrecherche

#### **Erstellung des Manuskriptes**

- Spezifische Anteile: „Material und Methode“, „mikromorphologische Ergebnisse POLMI“, „Diskussion“

#### **Gemeinsame Anteile**

„Einleitung“, „Ziel der Arbeit“, „Schlussfolgerung“, „Zusammenfassung“, „Anhang“

---

Ort, Datum

---

Christina Heinze

---

Karin Seidler

## Lebenslauf

Name:	Christina Heinze
Anschrift:	Lindenstraße 2, 07426 Dröbischau
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Geburtsdatum:	11.01.1983
Geburtsort:	Rudolstadt
09/1989 – 08/1993	Goetheschule in Königsee
09/1993 – 07/2001	Dr.-Max-Näder-Gymnasium Königsee
07/2001	Erlangung der allgemeinen Hochschulreife
10/2001 – 03/2007	Studium Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
01/2007	Staatsexamen Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
04/2007 – 08/2007	Promotionssemester
04/2007 – 07/2007	Tätigkeit als Tutorin in der Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde des Universitätsklinikums Jena
09/2007 – 09/2009	Assistenz Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Dr. Pfau Ilmenau
ab 10/2009	angestellte Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Dr. Pfau Ilmenau

## Lebenslauf

Name:	Karin Seidler
Anschrift:	Marderweg 2, 07749 Jena
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Geburtsdatum:	18.02.1978
Geburtsort:	Ilmenau
09/1984 – 08/1988	Geschwister-Scholl-Schule Herschdorf
09/1988 – 08/1991	Allgemeinbildende Oberschule Herschdorf
09/1991 – 07/1996	Am Lindenberg Gymnasium Ilmenau
07/1996	Erlangung der allgemeinen Hochschulreife
08/1996 – 01/2000	Ausbildung zur Zahntechnikerin Göbert-Dental-Labor GmbH
01/2000	Gesellenprüfung
02/2000 – 10/2001	Zahntechnikerin Göbert-Dental-Labor GmbH
10/2001 – 03/2007	Studium Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
01/2007	Staatsexamen Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
04/2006 – 07/2006	Tätigkeit als Tutorin in der Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde des Universitätsklinikums Jena
ab 04/2007	Assistenz Zahnärztin in der Poliklinik für Konservierende Zahnheilkunde des Universitätsklinikums Jena



## **Danksagung**

Unser besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. med. habil. I. Hoyer für die Überlassung des Themas sowie für ihre großzügige, unermüdliche Unterstützung bei der Erarbeitung und Verfassung der Promotionsarbeit. Ihre ständige Ansprechbarkeit und kritischen Anregungen waren uns eine sehr große Hilfe.

Weiterhin möchten wir uns herzlich bei Frau Dr. rer. nat. U. Kraft für ihre wertvollen Ratschläge bei den polarisationsmikroskopischen Untersuchungen bedanken.

Ebenfalls danken wir der MTLA Frau S. Schön für ihre Unterstützung bei den Replikat- und Schnittherstellungen, Frau OA Dr. med. R. Montag und Herrn Dipl. phys. W. Dietz für ihre Hilfe bei der rasterelektronenmikroskopischen Auswertung und Frau C. Hemmelmann für die Ratschläge zur statistischen Aufarbeitung der Ergebnisse.

Abschließend möchten wir unseren Eltern dafür danken, dass sie uns durch ihre stetige Unterstützung die Möglichkeit und die Kraft gegeben haben unsere Ziele zu erreichen.